



Ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, *Apis Mellifera*, en paysage rural du nord-ouest de la France

Mélanie Piroux

► To cite this version:

Mélanie Piroux. Ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, *Apis Mellifera*, en paysage rural du nord-ouest de la France. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2014. Français. NNT : 2014CLF22501 . tel-01135137

HAL Id: tel-01135137

<https://theses.hal.science/tel-01135137>

Submitted on 24 Mar 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE LA VIE,
SANTÉ, AGRONOMIE, ENVIRONNEMENT

N° d'ordre : 644

Thèse

Présentée à Clermont-Ferrand
pour l'obtention du grade de DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

Spécialité : **Ecologie**

Soutenue le 21 Octobre 2014

Mélanie, Marie PIROUX

Ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, *Apis mellifera*, en paysage rural du nord-ouest de la France

<i>Directeur de thèse :</i>	Bernard VIGUÈS, <i>Chargé de Recherche CNRS, LMGE, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand</i>
<i>Co-directeur de thèse :</i>	Monique L'HOSTIS, <i>Professeur, Oniris, Nantes</i>
<i>Rapporteurs :</i>	Gérard ARNOLD, <i>Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire Evolution, Génome et Spéciation, Gif-sur-Yvette</i> Joëlle FUSTEC, <i>Enseignant-Chercheur, Unité de Recherche LEVA, Ecole Supérieure d'Agriculture, Angers</i>
<i>Examineur co-encadrant :</i>	Olivier LAMBERT, <i>Ingénieur de Recherche, Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes (CVFSE), Oniris, Nantes</i>
<i>Examineur :</i>	Frédéric DELBAC, <i>Professeur, LMGE, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand</i>
<i>Membre invité :</i>	Frédéric BONTÉ, <i>Directeur de la Communication scientifique, LVMH Recherche, St-Jean-de-Braye</i>

*A mon arrière-grand-mère, Mélanie Piroux,
amoureuse des abeilles et cueilleuse de miel*

A ma « famiglia »

A mon Valérian



Remerciements

Je souhaite avant toute chose remercier Joëlle Fustec et Gérard Arnold pour avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail de thèse.

Je remercie Bernard Viguès, d'avoir accepté d'être mon directeur de thèse. Merci pour tes nombreux conseils, ton aide et la poésie de tes mails qui ont été un soutien formidable.

Je remercie également Monique L'Hostis d'avoir pris la co-direction de cette thèse. Merci de m'avoir fait confiance à mes débuts, de m'avoir fait découvrir le monde des abeilles, un monde fabuleux, pour votre aide et votre soutien.

Merci à Frédéric Delbac de m'avoir accueillie dans son équipe et d'avoir accepté de se joindre à mon jury de thèse.

Merci à Frédéric Bonté d'avoir également accepté de faire partie de mon jury et d'avoir éveillé ma curiosité à un autre univers.

Un merci tout particulier à Olivier Lambert pour son encadrement, son aide et son soutien. Merci pour tous ces moments passés dans la joie et la bonne humeur. On a bien rigolé.

Je remercie les apiculteurs pour leur implication dans cette étude et leur transmission de la passion de l'apiculture et des abeilles.

Merci à Chantal Thorin pour son soutien et son aide en statistiques.

Merci à Philippe Férard, pour les sorties terrain passées ensemble. T'es vraiment le roi de la botanique, les plantes n'ont aucun secret pour toi !

Je remercie chaleureusement Jean-Christophe Archambault, pour ces échanges autour du vaste monde de l'abeille et pour la découverte d'un univers envoiçant qui m'a beaucoup plu.

Merci à Jean-Luc Hascoët pour la découverte de l'Abeille noire d'Ouessant. Merci pour cette expérience au sein des ruchers sur l'île. Je me souviendrai toujours de cette nuit à nourrir les colonies, avec la lumière du phare et le bruit des vagues, c'était magique !

Merci à Jérôme Dao pour avoir accompagné mes premiers pas en botanique et m'avoir transmis la passion des fleurs... Tu m'as fait confiance, même si je t'ai paru quelquefois « inconstante dans mon dynamisme ».

Merci à tous les gens qui m'ont aidé et soutenu dans ce périple de montagnes en vallées ... de salicorne en coquelicot ...d'abeille en bourdon... Quel beau voyage !

Merci à Aurélie et Sarah, mes fidèles amies, si différentes mais avec tant de choses à partager. Merci à toutes les deux pour tous ces moments passés autour d'un thé... on a bien dû faire le tour du monde des centaines de fois. Merci pour votre aide durant toutes ces années et particulièrement pendant mon année d'hibernation à Rennes. Que de bons moments passés ensemble et tous ces souvenirs.

Un Merci tout particulier à ma Famille. Merci à Mamie et Josie pour m'avoir transmis l'amour de la terre et des choses simples de la vie. Merci à Maman et Papa pour m'avoir supportée (elle a un sacré caractère la petite !), m'avoir soutenue et parfois poussée dans cette voie où j'ai toujours tout raté (hein Papa !) et m'avoir permise d'aller jusqu'au bout des choses. Merci à Michaël, mon grand frère, cintrier parmi les cintres, pour m'avoir fait découvrir tant d'artistes qui ont été mes alliés pendant cette thèse.

Merci à ma belle-famille pour leur soutien. Un merci tout particulier à Violaine et Hervé qui en connaissance de cause ont pu me mettre en confiance, me soutenir et m'aider dans l'aventure « Thèse ». Merci Hervé, le roi de la plume, pour ton petit Shadok.

Merci à mon Amour de toujours pour son soutien sans faille et ça n'a pas été facile tous les jours. Tu m'as supportée, tu m'as accompagnée, tu n'as rien lâché...solide comme un roc ! Mon Chevalier, merci pour tout l'amour que tu m'offres jour après jour, pourvu que ça dure...



*Sois comme la fleur, épanouis-toi librement
et laisse les abeilles dévaliser ton cœur !*

Râmakrishna (hindouiste)

Avant-propos

Ce travail de thèse a été réalisé au Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes des Pays de la Loire (CVFSE-Oniris), sous la co-direction de Bernard Viguès, Chargé de Recherche CNRS au Laboratoire LMGE « Micro-organismes : Génome et Environnement », UMR 6023, Equipe Interactions hôtes-parasites de l'Université Blaise Pascal à Aubière, et du Professeur Monique L'Hostis, de la Plateforme Environnementale Vétérinaire d'Oniris.

Cette étude a bénéficié du soutien financier de LVMH-Recherche et de Guerlain SA, de la Direction Générale des Politiques Economique, Européenne et Internationale (Ministère Chargé de l'Agriculture) *via* les fonds FEAGA et de la DREAL Pays de la Loire.

Cette étude a aussi été réalisée grâce à l'implication de deux apiculteurs volontaires qui nous ont permis de disposer de leurs ruchers pendant deux années successives.

Ce travail de thèse a fait l'objet de deux publications dans des revues internationales à comité de lecture (Piroux *et al.*, 2014a ; Piroux *et al.*, 2014b) et de plusieurs communications affichées (Piroux, 2012) et orales, nationales (Piroux *et al.*, 2012 ; Piroux *et al.*, 2013b) et internationale (Piroux *et al.*, 2013a).

N.B. : La typographie utilisée dans ce manuscrit se base sur les règles décrites par Boudouresque (2013).

Résumé

Depuis le début du XX^{ème} siècle, l'évolution de l'agriculture et l'intensification des pratiques agricoles ont conduit à des modifications profondes du paysage induisant des pertes importantes d'habitats naturels et semi-naturels. Ces changements, entraînant notamment la diminution des ressources végétales et impliquant l'utilisation systématique de pesticides, ont des répercussions sur les colonies d'abeilles. C'est dans ce contexte que, durant deux saisons apicoles, des inventaires botaniques ont été réalisés au sein de l'aire de butinage de deux ruchers situés en paysage de grande culture du nord-ouest de la France et que des échantillons de pelotes de pollen et de miels prélevés dans ces ruchers ont été analysés. L'objectif était de comparer les ressources floristiques disponibles et celles réellement exploitées par les abeilles et d'entrevoir les stratégies de butinage mises en place dans ce cadre paysager. Les relevés floristiques ont permis de distinguer d'une part, de larges surfaces d'espèces cultivées, à floraison ponctuelle et d'autre part, des surfaces non cultivées, de plus petite taille, occupées par de nombreuses espèces sauvages dont la floraison s'étale sur la totalité de la saison apicole. Les analyses palynologiques montrent que ces espèces floristiques sauvages sont exploitées en continu y compris pendant la période de floraison des espèces cultivées. Bien que cette étude ne soit pas en mesure de le démontrer, il est possible que les espèces sauvages procurent aux colonies un apport nutritionnel que la floraison ponctuelle des plantes cultivées ne peut totalement compenser. Une meilleure connaissance de la valeur nutritionnelle des différents pollens d'essences végétales, ainsi que des besoins alimentaires basiques nécessaires au développement et à la pérennisation des colonies devraient aider à éprouver cette hypothèse.

Mots clés : *Apis mellifera*, Abeille mellifère, paysage cultivé, ressources floristiques, pollen, miel, stratégies de butinage, biodiversité.

Abstract

Since the beginning of the XXth century, the evolution of agriculture and the intensification of farming practices have led to landscape changes with the loss of natural and semi-natural habitats. These changes, involving a decrease of plant resources and a use of pesticides, may have noticeable impact on honey bee colonies. In this framework of weakened biodiversity, the initiative was taken of recording botanical species growing in the foraging area of two apiaries in cultivated landscapes of Western France and sampling pollen pellets and honey for pollen species determination during two successive beekeeping seasons. The aim of this study was to compare the available flora resources with those really exploited by the honey bees, to get a glimpse of the foraging strategies developed by the colonies in this landscape context. The floristic readings enabled to distinguish wide areas of cultivated plant species characterized by temporary blossoms from areas of wild species characterized by much smaller superficies and by flowerings spread over the year. Palynological analyses indicate that wild floristic species are exploited throughout the beekeeping season including during blooms of cultivated plant species. Even though not conclusively stated by the present study, it is possible that wild species provide colonies with nutritional intakes that cannot be totally compensated by temporary blooms of cultivated plants. A more extended knowledge of the nutritional values of pollens produced by plant species together with a better understanding of basic food needs for development and perennisation of colonies should help to test this hypothesis.

Key words: *Apis mellifera*, honey bee, cultivated landscape, floristic resources, pollen, honey, foraging strategies, biodiversity.

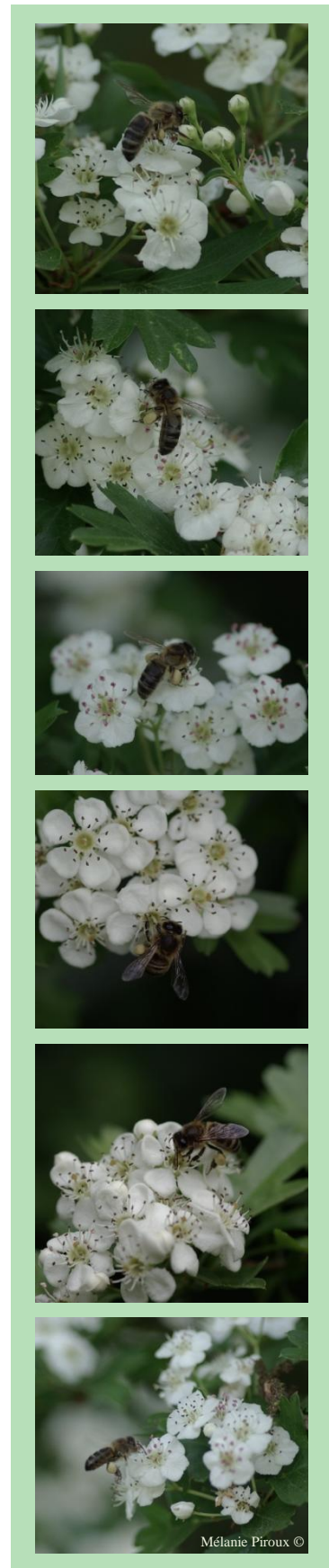
Plan détaillé

Introduction	1
Des premières plantes aux premières abeilles	3
Reproduction des plantes à fleurs : la pollinisation	6
Stratégies de butinage de l'Abeille domestique, <i>Apis mellifera</i>	9
Paysage, ressources floristiques et apiculture	13
I. Contexte et données préliminaires - Etude « Abeille mellifère (<i>Apis mellifera</i>) témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager en Pays de la Loire » (étude 1)	19
I.1. Analyse paysagère de l'environnement des ruchers	24
I.1.1. Matériel et méthodes	25
I.1.2. Résultats	25
I.1.3. Discussion	33
I.2. Evaluation des ressources pollinifères et mellifères de l'étude « Abeille mellifère (<i>Apis mellifera</i>), témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager des Pays de la Loire » (étude 1)	34
I.2.1. Matériel et méthodes	34
I.2.2. Résultats des analyses palynologiques de pelotes de pollen	35
I.2.3. Résultats des analyses palynologiques du miel	38
I.2.4. Discussion	40
I.3. Discrimination paysagère : données d'occupation du sol et/ou données palynologiques	41
I.4. Etude « Abeille mellifère (<i>Apis mellifera</i>), témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager des Pays de la Loire » (étude 1) : bilan et perspectives	60
II. Matériels et méthodes - Etude des ressources pollinifères et mellifères de deux ruchers en Pays de la Loire (étude 2)	63
II.1. Ruchers	65
II.2. Analyse paysagère fine : occupation du sol et inventaires botaniques	66
II.3. Echantillonnage des pelotes de pollen	71
II.3.1. Méthodologie utilisée	72
II.3.2. Validation de la méthode d'échantillonnage des pelotes de pollen	75
II.4. Echantillonnage du miel	76
II.4.1. Echantillonnage de miel à la colonie	76
II.4.2. Echantillonnage de miel au niveau du rucher	78
II.5. Données supplémentaires	79
II.5.1. Poids des récoltes de miel	79
II.5.2. Evaluation des colonies	79
II.5.3. Conditions météorologiques	80
II.6. Gestion et analyse des données	81
II.6.1. Base de données relationnelle	81
II.6.2. Système d'Information Géographique	83
II.6.3. Analyses statistiques	84

III. Résultats - Etude des ressources pollinifères et mellifères de deux ruchers en Pays de la Loire (étude 2)	88
III.1. Flore présente dans l'environnement des ruchers ML et V : ressources disponibles	90
III.1.1. Occupation du sol et structure du paysage	90
III.1.2. Espèces végétales présentes dans les deux aires de butinage	98
III.1.2.a. Familles botaniques identifiées	107
III.1.2.b. Espèces végétales identifiées	110
Indices écologiques	110
Surfaces fleuries au sein de l'aire de butinage	114
Analyse multivariée des ressources disponibles pour l'abeille au sein des aires de butinage des deux ruchers, en 2011 et 2012	117
III.2. Fleurs butinées par les abeilles des colonies ML et V étudiées : ressources exploitées	119
III.2.1. Validation de la méthode d'échantillonnage	120
III.2.2. Flore pollinifère visitée par les abeilles	122
III.2.2.a. Familles polliniques identifiées dans les pelotes de pollen	123
III.2.2.b. Taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen	126
Indices écologiques	126
Analyse multivariée des ressources exploitées par l'abeille au sein des aires de butinage des deux ruchers, en 2011 et 2012	132
Profils palynologiques des colonies	134
III.2.3. Flore mellifère visitée par les abeilles	139
III.2.3.a. Echantillons de miel prélevés dans les colonies	140
III.2.3.b. Echantillons de miel de récolte	147
III.3. Stratégies de butinage : comparaison des ressources disponibles dans l'environnement et des ressources exploitées par les colonies des ruchers ML et V	150
III.3.1. Exploitation des ressources pollinifères	150
III.3.1.a. Indices écologiques et comparaison des indices	150
III.3.1.b. Analyses multivariées et stratégies de butinage	154
III.3.1.c. Profils palynologiques et stratégies de butinage	159
Stratégies de butinage des colonies du rucher ML en 2011	159
Stratégies de butinage des colonies du rucher ML en 2012	162
Stratégies de butinage des colonies du rucher V en 2011	166
Stratégies de butinage des colonies du rucher V en 2012	168
III.3.2. Exploitation des ressources mellifères	195
III.4. Résultats complémentaires	200
III.4.1. Poids des récoltes de miel	200
III.4.2. Evaluation des colonies	200
IV. Discussion	205
IV.1. Quelles sont les ressources floristiques disponibles au sein de l'aire de butinage des deux ruchers situés en paysage de grande culture ?	207
IV.2. Quelles sont les ressources pollinifères et mellifères exploitées par l'abeille dans les paysages de grande culture, au cours de la saison apicole ?	211
IV.2.1. Validation de la méthode d'échantillonnage des pelotes de pollen au niveau du plancher	211
IV.2.2. Ressources pollinifères exploitées par l'abeille en paysage de grande culture	212
IV.2.3. Ressources mellifères exploitées par l'abeille en paysage de grande culture	221
IV.3. Quelles sont les ressources à privilégier en paysage de grande culture pour favoriser une apiculture et une agriculture durable ?	223
Conclusion et perspectives	228

<i>Références bibliographiques</i>	234
<i>Annexes</i>	261

Introduction



Des premières plantes aux premières abeilles

L'apparition des **premiers végétaux**¹ remonte au Paléozoïque avec l'apparition des premières algues pendant l'Ordovicien, il y a plus de 450 millions d'années (Ma) (Figure 1).

Ces premiers végétaux sont exclusivement aquatiques et il faut attendre le Silurien pour voir apparaître les premières plantes terrestres, appelées Embryophytes. Cependant, la découverte de spores datant de l'Ordovicien suggère une émergence des Embryophytes bien avant le Silurien (Rubinstein *et al.*, 2010). Au Dévonien, la végétation se diversifie et le nombre d'espèces augmente (De Franceschi, Sagascience). Chez certaines plantes, l'appareil végétatif se vascularise et les tissus se lignifient. Cette évolution conduit à la formation de forêts composées majoritairement de Lycophytes (lycopodes) et d'Euphylliphytes (plantes caractérisées par des feuilles à nervures multiples), dont des Sphénophytes (prêles) et des Filicophytes (fougères). La fin du Dévonien coïncide avec l'apparition des premiers arbres comparables à ceux de notre époque et notamment du genre *Archaeopteris* (Progymnospermes²), une plante pouvant atteindre plus de 30 m de hauteur, aux puissantes racines, au tronc imposant et aux branches feuillées ressemblant à des frondes de fougère (Figure 2). Cette espèce ne produit pas de graines et disperse des spores (Hallé, 2008).

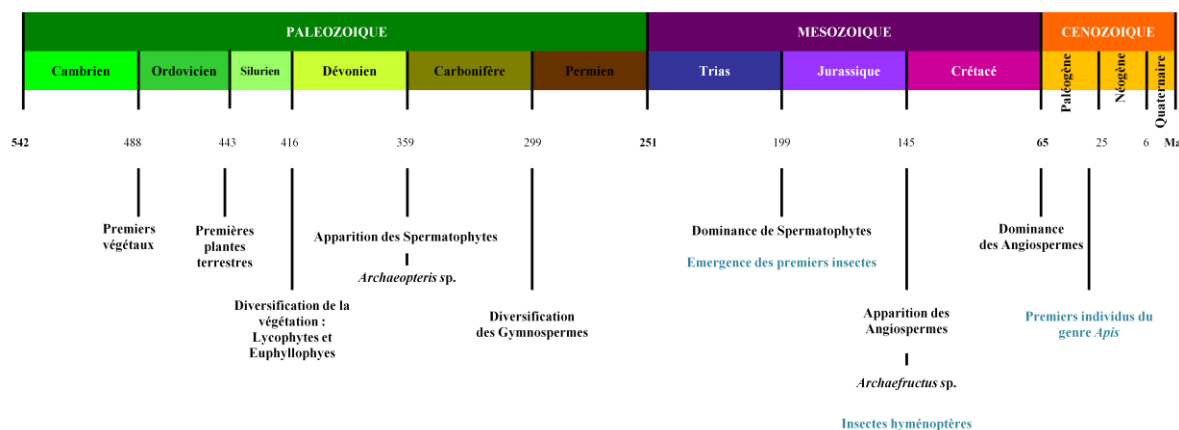


Figure 1. Echelle des temps géologiques (le Paléogène est découpé en Paléocène, Eocène et Oligocène, le Néogène est découpé en Miocène et Pliocène et le Quaternaire en Pléistocène et Holocène) basée sur celle de la Commission Internationale de Stratigraphie, évolution des végétaux et apparition des premiers insectes.

¹ Végétaux : eucaryotes pluricellulaires réalisant la photosynthèse et dont les cellules se distinguent par une paroi pectocellulosique.

² Groupe de plantes fossiles et groupe-frère des Gymnospermes et des Angiospermes intégré dans la division des Spermatophytes.

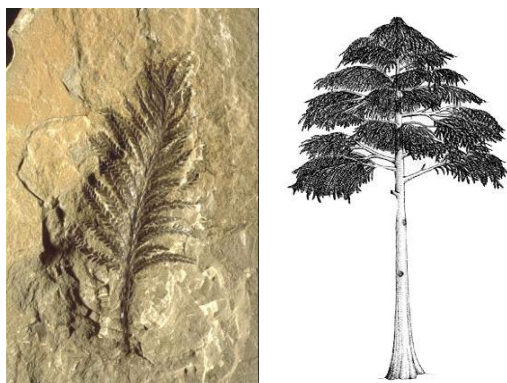


Figure 2. Fossile de feuille d'*Archaeopteris* à gauche et restitution d'un *Archaeopteris* à droite (<http://www.miguasha.ca/mig-fr/archaeopteris.php>).

C'est à la même époque que les **premières plantes à graines**, les Spermatophytes, font leur apparition. Au Carbonifère, les Lycophytes arborescentes sont des éléments majeurs des paysages marécageux des régions tropicales, les Filicophytes et les pré-Spermatophytes sont abondants. Au Permien, les Gymnospermes et plus particulièrement les Coniférophytes, peu représentés jusqu'alors se diversifient, en lien avec un climat sec et cela au détriment des Lycophytes, des Sphénophytes et des Filicophytes. Au Mésozoïque, la végétation est variée et est composée de Bryophytes, Lycophytes, Sphénophytes, Filicophytes et Spermatophytes. C'est à la fin du Trias que les plantes à graines deviennent dominantes. Au Jurassique, des jungles luxuriantes se développent sous l'influence des conditions météorologiques chaudes et humides et les premiers insectes émergent (De Franceschi, Sagascience ; Grimaldi, 1999). Les Coniférophytes constituent le groupe de plantes le plus diversifié. Ce n'est qu'au Crétacé que les plantes à fleurs, les Angiospermes, apparaissent, dont le plus ancien fossile du genre *Archaeofructus* découvert en Chine et datant de 125 Ma (Figure 3).



Figure 3. Fossile d'*Archaeofructus* à gauche et illustration d'un *Archaeofructus* à droite (<http://www.flmnh.ufl.edu>).

A cette période, les **Angiospermes** se diversifient, co-évoluent avec les insectes et occupent rapidement les habitats modifiant de façon significative les paysages végétaux (De Franceschi, Sagascience ; Grimaldi, 1999). Les plus anciens insectes hyménoptères fossilisés dans l'ambre sont datés de la même époque. A la fin du Crétacé, les Angiospermes constituent le groupe dominant et le plus diversifié alors que les Gymnospermes ont progressivement disparu, seules quelques espèces perdurant (Figure 4).

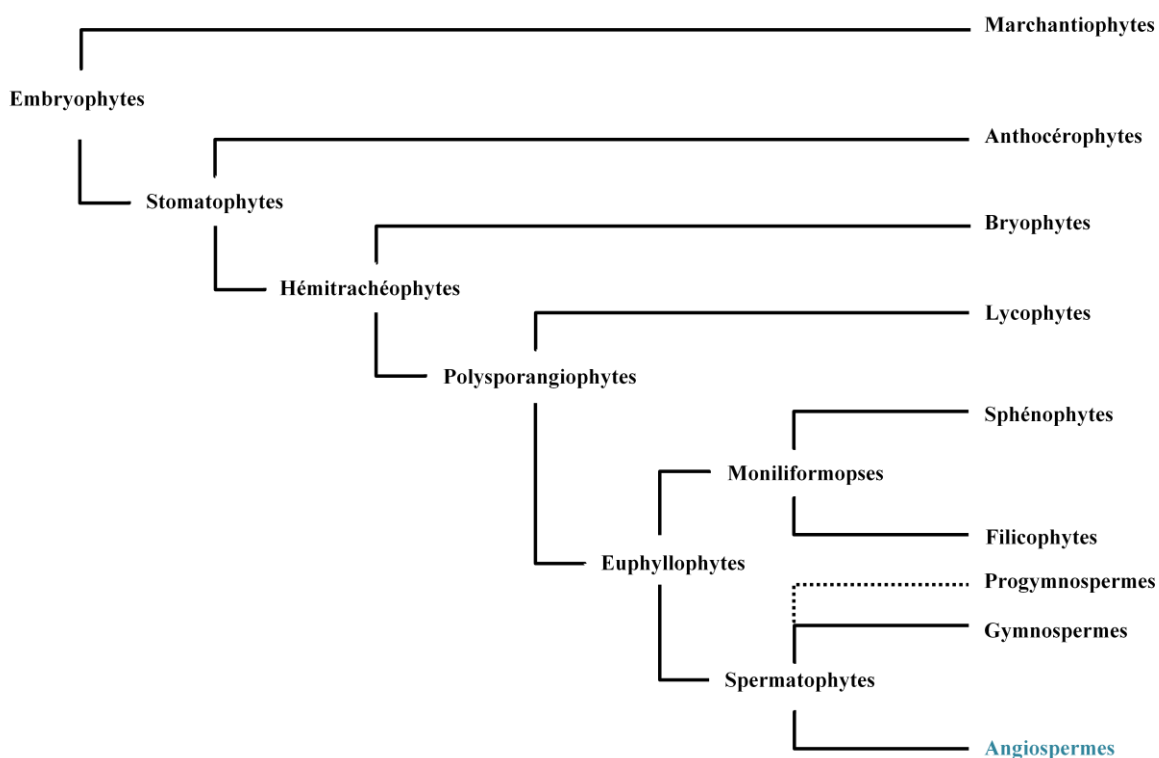


Figure 4. Classification phylogénétique des végétaux (d'après Ducreux, 2002).

Les hyménoptères correspondant aux **premières abeilles** seraient apparus lors de l'Eocène, suivis par les premiers individus du genre *Apis* pendant l'Oligocène (Grimaldi, 1999 ; Engel, 2006 ; Engel *et al.*, 2009 ; Kotthoff *et al.*, 2011). Les plus anciens fossiles du genre *Apis*, datent de l'Oligocène-Miocène pour l'Europe et du Miocène pour l'Asie, l'Afrique de l'est et les Etats-Unis (Engel *et al.*, 2009) (Figure 1). C'est au Miocène inférieur, que les quatre grandes lignées d'abeilles, qui de nos jours représentent les quatre espèces du genre *Apis*, se seraient constituées (Starr, 1998) : une lignée d'abeilles de petite taille (*Apis florea*), une lignée d'abeilles géantes (*Apis dorsata*), et deux lignées d'abeilles morphologiquement proches (*Apis cerana* et *Apis mellifera*). La répartition actuelle de ces quatre lignées aurait été dictée par les fortes glaciations du Pléistocène suivies des premiers réchauffements climatiques de l'Holocène. Actuellement, *Apis florea*, *Apis dorsata* et *Apis cerana* occupent

une bonne partie du continent sud-asiatique tandis qu'*Apis mellifera*, initialement répartie sur les continents européen et africain (Figure 5), a suivi l'Homme lors de ses conquêtes du Nouveau Monde et est aujourd'hui présente également sur le continent américain.

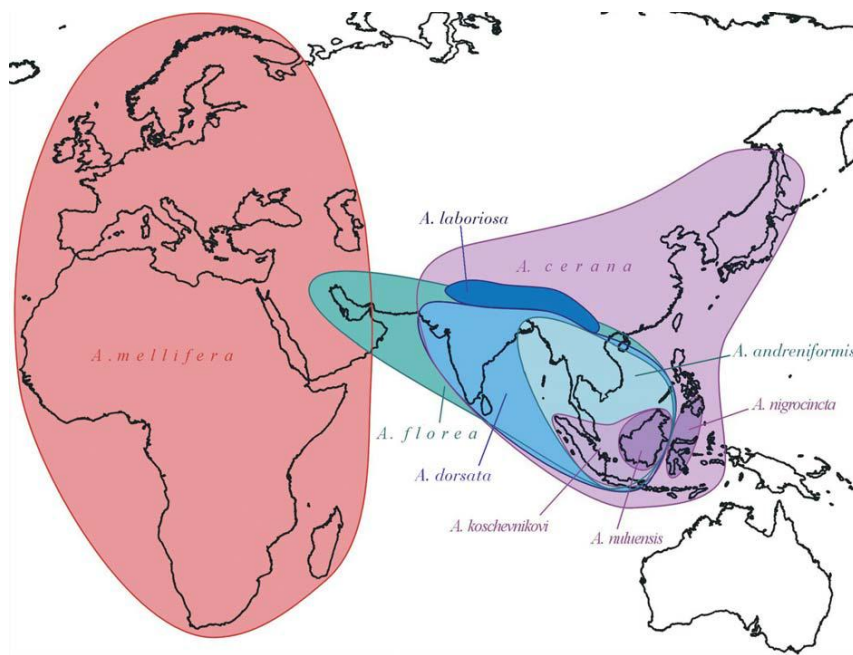


Figure 5. Distribution géographique des espèces du genre *Apis* (Franck *et al.*, 2000).

Reproduction des plantes à fleurs : la pollinisation

Les **Angiospermes** se sont d'abord affranchies du milieu aquatique, puis se sont diversifiées par leur morphotype (herbacée, arbustive, arborescente, ...) et se sont adaptées à des milieux et des conditions climatiques très divers ; elles présentent une structure reproductrice innovante par rapport aux autres végétaux, la fleur (Figure 6).

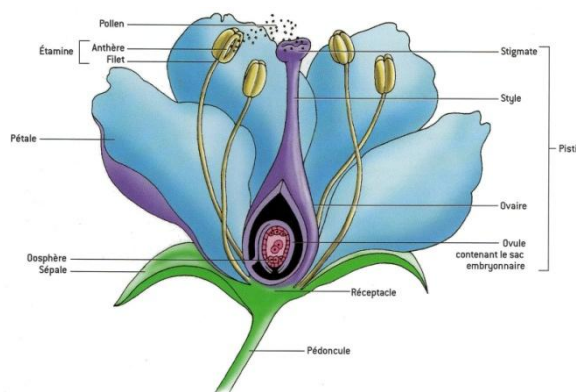


Figure 6. Schéma détaillé d'une fleur hermaphrodite (Bournérias & Bock, 2006).

La **fleur** est généralement hermaphrodite et comporte les organes femelles, représentés par le pistil (un ovaire surmonté d'un style terminé par un stigmate), et les organes mâles que sont les étamines (filet surmonté d'une anthère remplie de grains de pollen). Chez certaines espèces comme le kiwi, les fleurs sont gonochoriques (fleurs mâles ou fleurs femelles). Chaque fleur est constituée également de pièces stériles, des sépales qui constituent le calice, des pétales qui forment la corolle, et des nectaires, pouvant être sur l'ensemble des pièces florales. Parfois même, ces tissus sécréteurs de nectar sont extra-floraux, localisés au niveau des feuilles par exemple.

La fleur et sa **pollinisation** vont permettre à la plante de se reproduire dans le but de former une graine qui pourra à son tour donner naissance à une nouvelle plante de son espèce. La pollinisation consiste en un dépôt de grains de pollen sur le stigmate d'une fleur de la même espèce, chaque grain de pollen émettant un tube pollinique qui traverse le style et achemine les gamètes jusqu'à l'ovule pour le féconder. L'ovule et les tissus associés vont alors se développer pour donner naissance à une graine puis un fruit (Partap, 2011).

La pollinisation existe sous deux formes :

- l'autofécondation : l'ovule est fécondé par du pollen du même individu,
- la fécondation croisée : l'ovule est fécondé par du pollen en provenance d'un autre individu, ce qui va favoriser le brassage génétique contrairement à l'autofécondation.

Différentes stratégies permettent de conduire le pollen au pistil des fleurs de la même espèce :

- l'anémogamie consiste en un transport des grains de pollen par le vent. Les plantes produisent une quantité très importante de pollens dans laquelle elles vont investir beaucoup d'énergie et ainsi maximiser les chances de reproduction de l'espèce, la pollinisation n'étant pas ciblée ;
- l'hydrogamie, présente chez de rares plantes, est le transport des grains de pollen par l'eau ;
- la zoogamie correspond à un transport des grains de pollen par les animaux dont les mammifères (dont la chiroptérogamie), les oiseaux (ornithogamie) mais aussi et surtout par les insectes (entomogamie) (Figure 7).

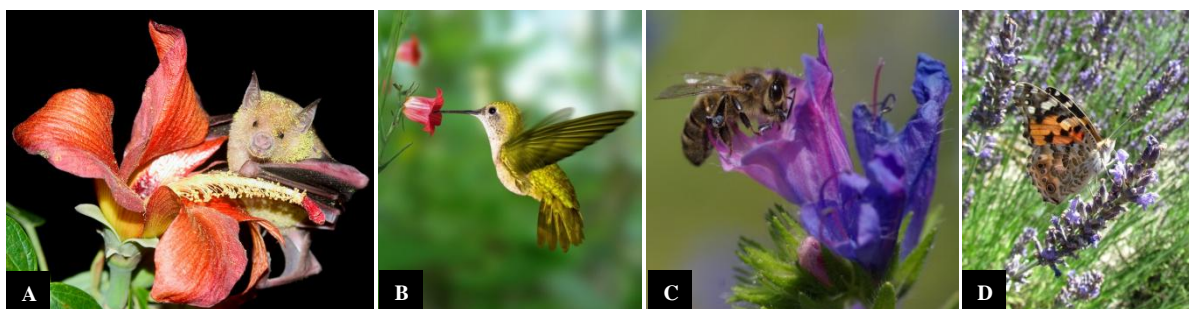


Figure 7. Exemples de pollinisateurs. A = Chauve-souris, *Phyllonictes* sp. (photographie : Carlos Manchini), B = Colibri (photographie : Ktsdesign-Fotolia.com), C = Abeille domestique, *Apis mellifera*, D = Vanesse du chardon, *Vanessa cardui* (photographies C et D : Mélanie Piroux).

La **zoogamie** constitue le mode de pollinisation le plus fréquent des végétaux avec plus de 67 % des espèces de plantes à fleurs qui se reproduisent grâce aux animaux (Nabhan & Buchman, 1997 ; Ollerton *et al.*, 2011 ; Partap, 2011). Cette stratégie permet aux plantes de produire une quantité moins importante de pollens car la pollinisation est ciblée. En revanche les plantes doivent mobiliser leur énergie pour mettre en place des marqueurs destinés à attirer les pollinisateurs (Dafni *et al.*, 1997 ; Fluri *et al.*, 2001), et établir une relation fleur-pollinisateur. En contre-partie, le visiteur bénéficie d'une ou plusieurs récompenses, le nectar et/ou le pollen.

Pour être pollinisée et afin d'assurer sa reproduction, chaque plante a su mettre en place différentes stratégies et caractères pour attirer les pollinisateurs (Fenster *et al.*, 2004) : des caractères morphologiques, des couleurs, des odeurs, ou encore une composition de la récompense spécifiques. Certaines possèdent également des signaux montrant une pollinisation déjà effectuée avec, par exemple, une modification de la couleur des fleurs (Figure 8) (Louveaux, 1958 ; Fluri *et al.*, 2001).



Figure 8. Fleurs d'*Aesculus hippocastanum* (Marronnier commun), A = fleur non pollinisée, tachée de jaune en son centre, B = fleurs pollinisées, tachées de rouge en leurs centres, C = fleurs pollinisée et non pollinisée (photographies : Mélanie Piroux).

Le **service écosystémique** rendu par la pollinisation est très important. D'un point de vue écologique, la relation plante-pollinisateur permet i/ une diversité intra-spécifique avec la fécondation croisée qui permet des croisements génétiques et inter-spécifiques à la base du maintien et de la pérennisation des espèces végétales (Fluri *et al.*, 2001) et ii/ une diversité des pollinisateurs qui ont besoin de nectar et de pollen pour se développer (Biesmeijer *et al.*, 2006 ; Ollerton *et al.*, 2011). Indirectement, cette diversité végétale assure une diversité faunistique et *vice versa*. En effet, certains organismes dépendent d'espèces végétales spécifiques pour assurer leur reproduction, leur développement ou encore leur alimentation (Sundriyal & Sundriyal, 2001 ; Vereecken, Atlas Hymenoptera). De même, la diversité des pollinisateurs va assurer la reproduction des plantes et une diversité floristique indispensable à d'autres espèces animales comme les herbivores (Kearns *et al.*, 1998). D'un point de vue économique, le service écosystémique lié à la pollinisation des cultures est estimé à 153 milliards d'euros par an dans le monde (Gallai *et al.*, 2009). Klein *et al.* (2007) ont pu établir que 87 cultures, qui représentent 70 % des 124 cultures principalement utilisées dans l'alimentation humaine dans le monde, sont dépendantes des pollinisateurs.

Stratégies de butinage de l'Abeille domestique, *Apis mellifera*

L'Abeille domestique (*Apis mellifera*)³ prélève du pollen et/ou du nectar, sur les différentes fleurs qu'elle visite.

Le **pollen** récolté sur les étamines, représente une source de protéines et d'acides aminés, de vitamines, de minéraux, de stérols et autres lipides. L'abeille constitue des pelotes en agglomérant les grains de pollen avec du nectar et des sécrétions glandulaires (Louveaux, 1958) et les transportent dans les corbeilles à pollen situées sur ses pattes postérieures. Les pelotes sont ensuite stockées dans les alvéoles formant ainsi le pain d'abeille, qui sera consommé ultérieurement (Figure 9). Le pollen constitue un aliment de base pour les abeilles en raison de sa teneur en protéines indispensables au développement et à la santé de la colonie (Maurizio, 1954 ; Crailsheim *et al.*, 1992 ; Alaux *et al.*, 2010 ; DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2010).

³ Dans la suite du texte, sauf mention particulière, les termes « abeille » et « abeilles » font référence à l'Abeille mellifère ou domestique, *Apis mellifera*.



Figure 9. Transport et stockage du pollen. Butineuses récoltant et transportant des pelotes de pollen (A et B). Le pollen est transporté sur les pattes postérieures de l'insecte, dans les corbeilles à pollen (B). Les pelotes sont ensuite emmagasinées dans des alvéoles formant un stock de ressources appelé « pain d'abeille » (C) (photographies : Mélanie Piroux).

Le **nectar**, présent dans les nectaires, est une solution aqueuse plus ou moins concentrée en sucres, dont le taux et le type (glucose, fructose, saccharose, ...) sont variables en fonction des espèces végétales. Ce nectar est récolté grâce au proboscis de l'abeille (**Figure 10**), puis modifié et stocké pour constituer des réserves de miel utilisé comme nourriture sucrée par les ouvrières.

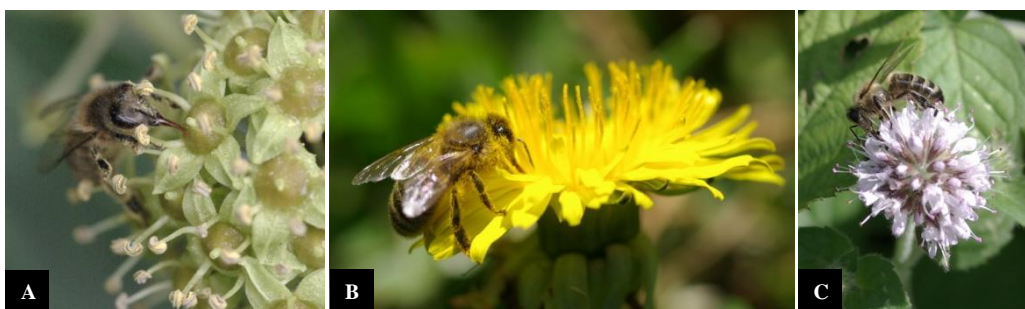


Figure 10. Butineuses récoltant du nectar sur A = *Hedera helix*, B = *Taraxacum* sect. *Ruderalia* et C = *Mentha aquatica* (photographies : Mélanie Piroux).

L'abeille récolte également du **miellat**, une substance riche en sucre et notamment en sucres complexes. Il est généralement produit par un insecte piqueur suceur, comme le puceron, qui se nourrit de la sève des végétaux et excrète un excédent sucré que l'on appelle miellat. Une fois récolté par l'abeille, il est transformé de la même façon que le nectar pour obtenir du miel. Les plantes qui abritent ces colonies d'insectes et qui permettent une récolte de miellat par les abeilles sont généralement des arbres comme le sapin, le chêne, l'érable, le tilleul mais également des Poaceae comme le blé.

Le **miel** est produit par les abeilles à partir des récoltes de nectar et de miellat qui vont être modifiés par l'action d'enzymes notamment. Il est constitué essentiellement de glucides,

d'eau, et d'éléments mineurs, notamment des grains de pollen qui permettent de connaître les espèces végétales exploitées par l'abeille (Directive 2014/63/UE).

Pour récolter ces ressources alimentaires, l'Abeille mellifère a mis en place des **stratégies de butinage** qui reposent sur l'orientation, la navigation, la localisation de fleurs et donc des ressources. L'abeille est capable de s'orienter et de naviguer grâce à différents stimuli de types visuels (le soleil ou les ultraviolets en cas de couverture nuageuse, des repères terrestres dans le paysage), magnétiques et olfactifs. En effet, les abeilles peuvent détecter des odeurs sur une très grande distance et il semble que ce stimulus soit le premier élément dans le choix de la ressource, qu'elle soit nectarifère ou pollinifère (Schmidt, 1982 ; Pernal & Curie, 2002 ; Cook *et al.*, 2005 ; Mačukanović-Jocic *et al.*, 2011 ; Arenas & Farina, 2012). L'odeur de la ressource est également essentielle lors du recrutement de nouvelles butineuses (Farina *et al.*, 2007). D'autres stimuli interviennent dans la sélection de la fleur tels que la couleur, ainsi que des signaux optiques et ultraviolets, la forme (symétrie de la fleur, taille de la corolle) (Gonzales *et al.*, 1995 ; Mačukanović-Jocic *et al.*, 2011), la texture des pétales et des étamines, la taille et la quantité des grains de pollen (Figure 11), ainsi que l'abondance et la composition du nectar (Alm *et al.*, 1990 ; Hill *et al.*, 1997 ; Fluri *et al.*, 2001 ; Pernal & Curie, 2002 ; Mačukanović-Jocic *et al.*, 2011 ; Aronne *et al.*, 2012). La perception d'une récompense peut également fidéliser le pollinisateur à une espèce florale (Hill *et al.*, 1997), sachant que l'activité de butinage est généralement monospécifique par voyage fleurs-rucher, et que l'abeille change de ressource lorsque celle-ci s'amenuise (Maurizio, 1953 ; Louveaux, 1958 ; Pesson & Louveaux, 1984 ; Giurfa & Núñez, 1992 ; Greggers & Menzel, 1993).

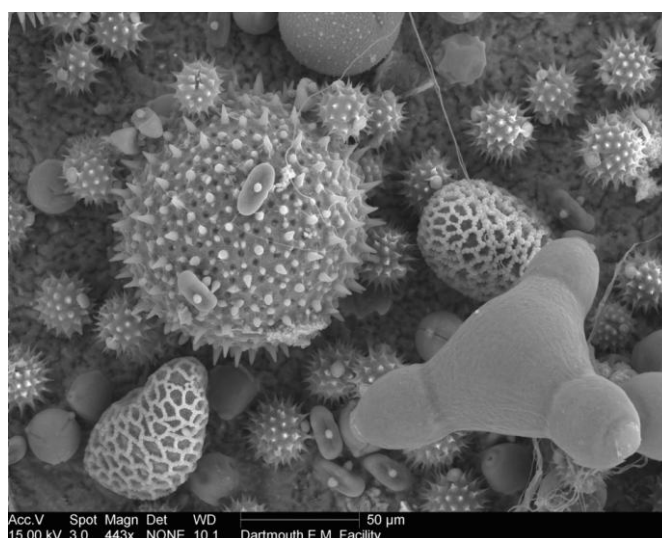


Figure 11. Echantillon de grains de pollen observés en microscopie électronique à balayage (<http://www.dartmouth.edu>).

A son retour à la colonie, la butineuse va estimer la nécessité de recruter de nouvelles butineuses en fonction de la disponibilité de la ressource et en fonction du stock de ressources polliniques et nectarifères présentes dans la ruche (Fewell & Winston, 1992 ; Fewell & Winston, 1996 ; Camazine *et al.*, 1998 ; Dreller & Tarpay, 2000 ; Weidenmüller & Tautz, 2002 ; Schmickl & Crailsheim, 2004). Si nécessaire, l'abeille effectue alors une danse en rond ou une danse frétilante à l'intérieur de la ruche sur les rayons de cire, renseignant ses congénères sur la direction, la distance et la qualité de la ressource (von Frisch, 1965 ; Seeley, 1992 ; Waddington *et al.*, 1998 ; Afik *et al.* 2008). La danse en rond est réalisée lorsque les ressources sont proches de la ruche : les butineuses se déplacent en petits cercles et échangent avec les ouvrières à recruter, les informations sur la ressource telles que la distance, l'odeur, la concentration du nectar ou encore la quantité de pollen. La danse dite « en huit » ou frétilante est réalisée lorsque les ressources sont plus éloignées ; cette danse est orientée (barre du huit) en fonction de l'angle construit par rapport à un axe qualifié d'origine reliant la ruche au soleil et un axe reliant la ruche à la position de la ressource butinée (Figure 12) (von Frisch, 1965).

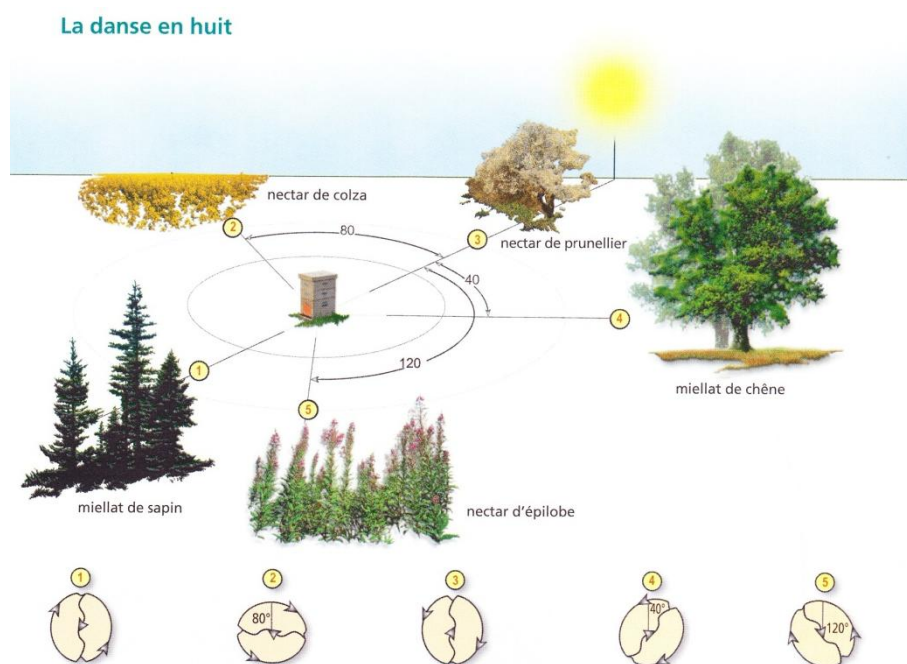


Figure 12. Schéma de la danse frétilante effectuée par les butineuses à l'intérieur de la ruche pour recruter de nouvelles butineuses (Traité Rustica de l'Apiculture, d'après les recherches de von Frisch, 1965).

Les paramètres sensoriels et géographiques sont des éléments indispensables à l'activité de butinage et à la récolte de ressources alimentaires au sein de l'aire de butinage de la colonie. La butineuse est également capable d'estimer le gain énergétique de la ressource ciblée et la

perte engendrée par sa récolte, liée à la manipulation des fleurs, au vol de fleurs en fleurs et au retour chargé à la ruche (Marden & Waddington, 1981 ; Seeley *et al.*, 1991 ; Waddington *et al.*, 1994). Ainsi les stratégies de butinage reposent sur la découverte de ressources d'intérêt pour la colonie à un coût énergétique raisonnable. La distance parcourue par une butineuse peut donc varier de quelques mètres à plusieurs kilomètres en fonction du type de ressources recherchées, de la saison, mais aussi du paysage et donc des ressources qu'il comporte (Visscher *et al.*, 1996 ; Beekman & Ratnieks, 2000 ; Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003).

Paysage, ressources floristiques et apiculture

Au début du XX^{ème} siècle, en France, les exploitations agricoles sont familiales (2 à 3 millions d'exploitations dont 85 % font moins de 10 ha) et il est pratiqué une **agriculture d'autoconsommation**. La modernisation agricole amorcée à la fin du XIX^{ème} siècle progresse lentement grâce aux progrès scientifiques et techniques. Malgré ces évolutions, l'autosuffisance n'est pas atteinte et la France accroît ses importations (Gauvrit, 2012). A cette époque et jusque quand les années 50, l'apiculture se pratique de façon traditionnelle à des fins d'autosubsistance (Guillerme *et al.*, 2011).

C'est durant l'entre-deux-guerres que les **changements du système agricole** s'amorcent avec le manque d'ouvriers agricoles, et ils s'accroissent après la seconde guerre mondiale pour faire face à la pénurie et au rationnement qui marquent encore la vie quotidienne des français (Flamant, 2010). Dans ce contexte économique et social, l'agriculture s'intensifie, entraînant des modifications profondes de la physionomie, de la structure et de la composition du paysage. En Angleterre, de 1945 jusque dans les années 2000, le nombre d'exploitations agricoles a chuté de 65 %, la main d'œuvre agricole a baissé de 77 %, alors que le rendement a été multiplié par quatre (Robinson & Sutherland, 2002). En France, entre 1954 et 1976, le nombre d'actifs agricoles est divisé par deux (Gauvrit, 2012). Parallèlement, l'apiculture se modernise, les apiculteurs deviennent professionnels et vont obtenir le statut d'agriculteurs (Guillerme *et al.*, 2011), mais les ressources floristiques commencent déjà à se raréfier.

L'intensification agricole, liée à l'avènement des machines agricoles et au remembrement, a eu un impact direct sur la **structure** et la **composition du paysage** suite à l'agrandissement des parcelles agricoles, entraînant la suppression de nombreuses haies (Burel & Baudry, 1995a ; Burel *et al.*, 1998 ; Baessler & Klotz, 2006 ; Michel *et al.*, 2006) et d'habitats naturels

et semi-naturels (prairies, zones boisées, bords de champs, friches). Pour exemple la [figure 13](#) représente les transformations qui ont eu lieu depuis les années 50 dans les paysages agricoles qui vont faire l'objet de notre étude. Ainsi, en Grande-Bretagne, 50 % du stock de haies a été supprimé entre 1945 et 2000 ([Robinson & Sutherland, 2002](#)), et pour la seule période de 1990 à 1993, la perte de linéaire de haies est estimée à 24 140 km ([Barr et al., 1994](#)). En France (Bretagne), entre 1952 et 1985, [Burel & Baudry \(1990\)](#) ont constaté une baisse de 36 % du linéaire de haies.



Figure 13. Vues aériennes (images noires et blanches) et photos satellites (images couleurs) de paysages agricoles dans la Région des Pays de la Loire, A (1949) et B (2012) = aire de butinage du rucher ML dans le Maine-et-Loire, C (1950) et D (2010) = aire de butinage du rucher V en Vendée (source : Institut Géographique National).

L'intensification agricole s'est également traduite par l'**usage de produits phytosanitaires** au sein des cultures, pour les protéger et améliorer les rendements, que ce soit par des traitements aériens ou par des produits systémiques. En effet, la production mondiale de pesticides n'a cessé d'augmenter depuis la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, une production de seulement quelques tonnes en 1945 à plus de 5 000 tonnes en 1995 ([Carvalho, 2006](#)).

Les **conséquences** de cette intensification agricole sont nombreuses. Premièrement, la suppression des haies, le retournement des prairies naturelles ou encore la fragmentation des habitats ont entraîné une réduction de la diversité des habitats ([Agger & Brandt, 1988](#) ; [Burel & Baudry, 1995a](#) ; [Strijker, 2005](#) ; [Michel et al., 2006](#) ; [Hendrickx et al., 2007](#) ; [Hobbs et al., 2008](#)) et une modification, voire une perte de biodiversité végétale et animale ([McLaughlin & Mineau, 1995](#) ; [Burel et al., 1998](#) ; [Krebs et al., 1999](#) ; [Macdonald & Johnson, 2000](#) ; [Benton](#)

et al., 2003; Holzschuh *et al.*, 2007 ; Le Féon *et al.*, 2010 ; Potts *et al.*, 2010). Une étude menée par Hendrickx *et al.* (2007) a mis en évidence une diminution de la richesse spécifique chez certaines espèces d'araignées, de scarabées, de syrphes ou encore d'abeilles sauvages dans des paysages agricoles tempérés en Europe. Or, ces espaces naturels ont un rôle écologique fondamental dans le paysage agricole, car ils servent de zones de transit, de refuge ou encore d'alimentation pour de nombreuses espèces (Öckinger & Smith, 2007). En effet, la couverture et la diversité floristique en paysage agricole favoriserait la présence et la diversité de la faune (Holzschuh *et al.*, 2007 ; Fahrig *et al.*, 2010). De plus, certaines espèces spécialistes sont réduites aux bordures de champs et aux aires non cultivées, comme certains scarabées adaptés au milieu boisé. D'autres espèces nécessitent d'une variété d'habitats et utilisent de façon alternative des zones cultivées et non cultivées (Millán de la Peña *et al.*, 2003). Ces habitats naturels et semi-naturels hébergent également des prédateurs naturels des insectes ravageurs de culture et des espèces qui assurent entre autres la pollinisation des cultures (Thies & Tscharnkte, 1999 ; Steffan-Dewenter *et al.*, 2002 ; Tscharnkte *et al.*, 2011 ; Burel *et al.*, 2013). Les haies sont un bon exemple d'habitat semi-naturel qui assure la fonction de corridor écologique permettant des flux d'espèces végétales et animales au sein du paysage, facilitant entre autres le succès reproducteur des plantes grâce à la diffusion des pollinisateurs (Burel & Baudry, 1990 ; Burel, 1996 ; Baudry *et al.*, 2000 ; Millán de la Peña *et al.*, 2003 ; Deckers *et al.*, 2004 ; Cranmer *et al.*, 2011 ; Ernoult & Alard, 2011). Les haies sont aussi des sites de reproduction, d'alimentation ou de repos pour de nombreuses espèces ; ainsi l'aubépine, *Crataegus monogyna*, l'espèce la plus ancienne présente dans les haies, est utilisée par 230 espèces d'insectes et d'acariens (Hoskins, 1955 ; Macdonald & Johnson, 2000).

Deuxièmement, l'utilisation de molécules chimiques a des répercussions sur la biodiversité des cultures, mais aussi des écotones (Freemark & Boutin, 1995 ; McLaughlin & Mineau, 1995 ; Carvalho, 2006). D'une part, elles impactent négativement la végétation, que ce soit la flore messicole⁴ et/ou les plantes présentes en bordure de champs. D'autre part, les pesticides ont un impact sur la faune pollinisatrice au sein ou à proximité des cultures, et notamment sur l'Abeille domestique. Une intoxication par ces molécules, qu'elle soit chronique ou aiguë, peut atteindre le comportement de l'abeille (butinage), les fonctions cognitives (l'apprentissage olfactif, l'orientation), les fonctions physiologiques, et peut favoriser le développement d'agents infectieux ou même entraîner la mort (Decourtye *et al.*, 2004 ; Vidau

⁴ Etymologiquement, cela signifie « habitant les moissons ». Considérées au sens large comme les plantes commensales des cultures (François, 1943 ; Aymonin, 1962).

et al., 2011 ; Aufauvre *et al.*, 2012 ; Belzunces *et al.*, 2012 ; Henry *et al.*, 2012 ; Wu *et al.*, 2012).

Troisièmement, ces changements ont pour conséquence l'augmentation de l'érosion éolienne et hydrique favorisant ainsi les transferts des intrants chimiques (Michel *et al.*, 2007 ; Baudry *et al.*, 2000).

Il semble y avoir eu, au cours de ces dernières années, une sérieuse prise de conscience quant aux conséquences de l'intensification agricole et à l'intérêt de préserver les écosystèmes, la faune et la flore avec une volonté affichée d'assurer le maintien voire d'accroître la diversité floristique et faunistique (Carvalho *et al.*, 2013).

En zone de grande culture, la simplification du paysage et l'usage de pesticides réduisent significativement la diversité des ressources alimentaires pour de nombreuses espèces. En effet, dans les paysages agricoles dominés par la monoculture, les pollinisateurs tels que l'abeille, tendent à souffrir d'un manque de pollen et de nectar (Altieri & Whitcomb, 1979 ; Olson & Wäckers, 2007). Aussi, et bien que des cultures mellifères (comme le colza, le tournesol ou encore le sainfoin) soient présentes au sein de ce paysage et attractives pour les pollinisateurs, elles sont souvent disponibles de façon limitées dans le temps, et la dispersion dans l'espace ainsi que la faible abondance des ressources sauvages peuvent conduire à des périodes de l'année pauvres en ressources alimentaires.

Du fait de sa répartition et de ses traits comportementaux, l'Abeille domestique est la seule espèce utilisée dans l'apiculture moderne en Europe, principalement pour la production de miel mais également de pollen. En raison de l'évolution de l'environnement et des espèces végétales, il n'est cependant pas certain que l'abeille puisse encore suffisamment profiter de ressources diversifiées et équilibrées en paysage de grande culture. A ce jour, les études relatives à la santé de l'abeille ont essentiellement porté sur la recherche de toxiques et/ou d'organismes pathogènes. L'aspect strictement nutritionnel et l'adaptation des colonies aux ressources présentes dans l'aire de butinage ont rarement été pris en considération. Or, l'affaiblissement des colonies en Europe et dans le Monde semble multifactoriel et consécutif de l'interaction de plusieurs facteurs tels que les agents chimiques, les agents biologiques et l'apport nutritionnel des ressources alimentaires (Naug, 2009 ; vanEngelsdorp & Meixner, 2010 ; Vidau *et al.*, 2011 ; Aufauvre *et al.*, 2012 ; Pettis *et al.*, 2012).

C'est dans ce contexte d'intensification agricole et de mortalités d'abeilles, que notre étude a été mise en place afin de savoir si l'abeille dispose, dans un environnement de grandes

cultures, de ressources suffisantes tout au long de la saison apicole. L'objectif de ce travail de thèse a été d'identifier les ressources pollinifères et mellifères, en paysage de grande culture du nord-ouest de la France pour les mettre en relation avec les stratégies de butinage de l'Abeille domestique, *Apis mellifera*. Ce travail devait répondre aux interrogations suivantes :

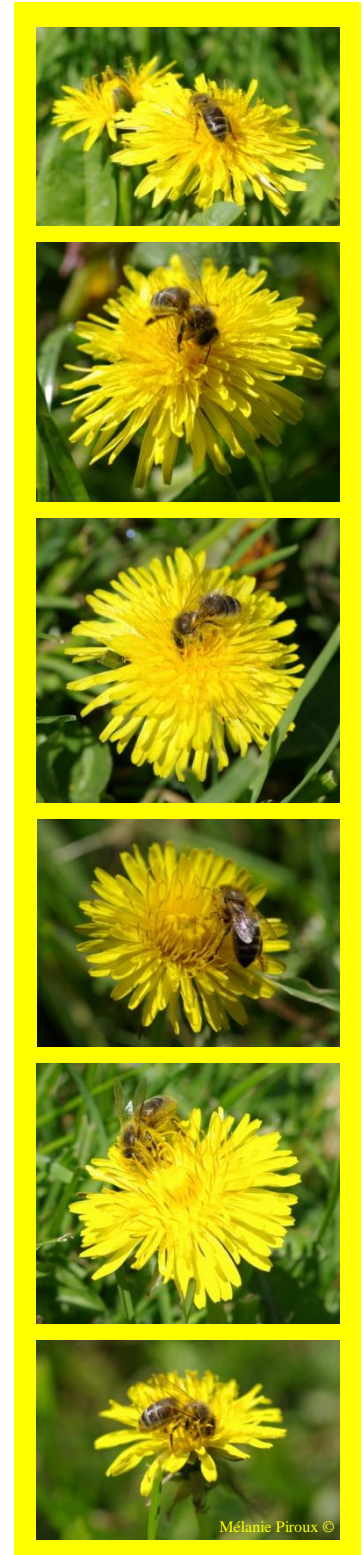
- Quelles sont les ressources floristiques disponibles et leurs recouvrements dans le paysage de grande culture au cours des saisons ?
- Quelles sont les ressources exploitées par l'abeille dans ce paysage de grande culture, au cours de la saison apicole et en quelle proportion pour les différentes colonies étudiées ?
- Quelles sont les ressources à privilégier en paysage de grande culture pour favoriser le maintien et le développement des colonies, et pour que la pollinisation des cultures soit optimale pour une apiculture et une agriculture durables ?

Pour répondre à l'objectif principal et aux questions scientifiques qui en découlent, plusieurs axes de travail ont été déclinés : 1/ une analyse paysagère fine des aires de butinage autour de chacun des 18 ruchers partenaires d'une précédente étude (L'Hostis & Pouliquen, 2011), afin de choisir les ruchers d'intérêts pour analyser l'exploitation des ressources par les colonies sélectionnées, 2/ des inventaires botaniques pour évaluer les ressources alimentaires disponibles au sein de l'aire de butinage des ruchers étudiés, 3/ des analyses palynologiques de pelotes de pollen et de miels prélevés au sein des colonies étudiées pour connaître les ressources exploitées par l'abeille.

Le manuscrit s'articule ainsi autour de cinq chapitres. Le premier chapitre présente le contexte général de l'étude et l'analyse paysagère de l'aire de butinage des ruchers de l'étude. Le deuxième chapitre présente la méthodologie employée i/ pour effectuer le recensement des ressources floristiques présentes dans l'environnement, ii/ pour réaliser l'échantillonnage de pelotes de pollen et de miels au sein des colonies étudiées et iii/ pour analyser l'ensemble des données. Un troisième chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus pour répondre au questionnement scientifique de cette étude. Enfin un quatrième et le dernier chapitre discutent ces résultats en lien avec les données disponibles dans la littérature, tout en essayant de mettre en évidence les ressources et la gestion du paysage à privilégier pour permettre une apiculture durable.

I. Contexte et données préliminaires

Etude « Abeille mellifère (*Apis mellifera*) témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager en Pays de la Loire » (étude 1)



Depuis la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, en lien avec notre économie, notre culture et l'évolution de notre société, les pressions anthropiques sur notre environnement telles que l'urbanisation (Loibl & Toetzer, 2003), l'occupation et l'usage du sol (Burel & Baudry, 1999 ; Macdonald & Johnson, 2000 ; Robinson & Sutherland, 2002 ; Baessler & Klotz, 2006), ou encore la pollution liée aux activités humaines, sont de plus en plus importantes. Cela entraîne des modifications qualitatives, quantitatives, et fonctionnelles de cet environnement avec des répercussions sur l'équilibre des écosystèmes (naturels et anthropisés) tous compartiments compris (faune, flore, eau, air, sol) (Agger & Brandt, 1988 ; McLaughlin & Mineau, 1995 ; Burel & Baudry, 1999 ; Krebs *et al.*, 1999 ; Holzschuh *et al.*, 2007 ; Hobbs *et al.*, 2008 ; Le Féon *et al.*, 2010 ; Potts *et al.*, 2010 ; Monteiro *et al.*, 2011).

Pour prendre en compte tous les éléments nécessaires pour évaluer la santé des écosystèmes, des outils performants comme des **espèces sentinelles**, le dosage de marqueurs ou de biomarqueurs, sont utilisés dans le cadre d'**études écoépidémiologiques**. C'est dans ce cadre que l'étude « Abeille mellifère (*Apis mellifera*), témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager des Pays de la Loire », qualifiée d'**étude 1** dans la suite du document, a été réalisée entre 2007 et 2010 (L'Hostis & Pouliquen, 2011 ; Lambert, 2012). Dans cette étude, *Apis mellifera*, a été choisie pour évaluer la pollution environnementale car l'Abeille domestique est considérée comme une très bonne espèce sentinelle (Devillers & Pham-Delègue, 2002 ; Celli & Maccagnani, 2003 ; Porrini *et al.*, 2003 ; Sabatini, 2005 ; Chauzat *et al.*, 2011). Cette étude a eu pour objectif général d'identifier les éventuels contaminants ramenés à la ruche par l'abeille et leurs transferts au sein même de la colonie. Les objectifs opérationnels ont été les suivants : 1/ évaluer la contamination chimique des abeilles et des autres matrices de la ruche par des polluants environnementaux, 2/ évaluer la contamination biologique des abeilles par des agents infectieux et 3/ connaître les ressources alimentaires exploitées par l'abeille afin de repérer les cultures et espèces végétales contaminées. Pour répondre à ces objectifs, différentes matrices ont été sélectionnées au sein de la ruche :

- une matrice **abeille butineuse** : l'abeille butineuse entre directement en contact avec les contaminants de l'environnement lors de l'activité de butinage, que ce soit par contact direct, par inhalation ou par ingestion et permet de mettre en évidence une exposition de quelques heures à



Mélanie Piroux ©

quelques jours. C'est elle également qui potentiellement rapporte les contaminants à la ruche *via* les ressources prélevées dans l'environnement ;

- une matrice **abeille de corps de ruche** : l'abeille à l'intérieur de la ruche est en



contact avec l'ensemble de la colonie : les ouvrières dont les butineuses, la reine, les mâles et le couvain. Des échanges vont s'opérer entre les différentes abeilles de la colonie notamment lors de la trophallaxie⁵, ce qui peut conduire à une dissémination d'agents infectieux. Les abeilles nous permettent donc d'évaluer la présence et l'importance du portage d'agents infectieux (virus, bactéries, microsporidies) de la colonie ;

- une matrice **pelotes de pollen** : le pollen issu des plantes à fleurs est indispensable



à la pollinisation de ces dernières, et est également la matière première du développement de la colonie. De par l'exposition des fleurs aux polluants chimiques, pendant quelques heures à quelques jours, les grains de pollen récoltés sur les fleurs et amassés en pelotes par les butineuses sont un point d'entrée des contaminants dans la ruche

par une diffusion de cette contamination aux larves, aux nourrices et à l'ensemble des abeilles, le pollen étant la base de leur nourriture ;

- une matrice **miel** : le miel est le résultat de transformations biochimiques du nectar présent au niveau des nectaires des fleurs (ou du miellat), récolté par les abeilles et additionné de salive d'abeille. En raison du phénomène de trophallaxie et de son stockage dans les alvéoles, le miel procure une image plus étendue dans le temps de la contamination de l'environnement par rapport aux pelotes de pollen (quelques jours à plusieurs semaines).



Cette étude a été réalisée sur une cohorte de dix-huit ruchers (seize continentaux et deux insulaires, [figure 14](#)) en régions des Pays de la Loire et de Bretagne, pendant deux années consécutives (2008-2009).

⁵ Échange mutuel de nourriture entre membres d'une même colonie chez les insectes sociaux.

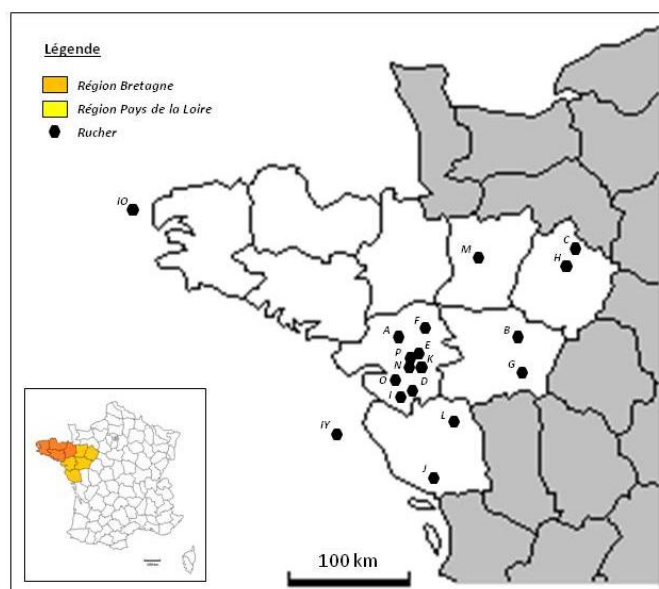


Figure 14. Localisation des 16 ruchers continentaux (identifiés de A à P) et des 2 ruchers insulaires (IO et IY) étudiés en régions des Pays de la Loire et de Bretagne.

Trois suivis ont été réalisés :

- un suivi écotoxicologique qui a permis d'évaluer la contamination par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), le plomb et les substances à usage phytosanitaires et vétérinaires de trois matrices apicoles (les abeilles butineuses, le pollen et le miel) ;
- un suivi écopathologique qui a permis de faire un état des lieux sur le portage d'agents infectieux des abeilles du corps de ruche ;
- un suivi palynologique dont le but était de connaître les ressources pollinifères (pelotes de pollen) et mellifères (miel) exploitées par les abeilles et de cibler les zones de contamination alimentaire.

Parallèlement à ces suivis, une évaluation de l'état de santé de chaque colonie a été réalisée lors de chaque prélèvement, ainsi que deux audits sanitaires auprès de chaque apiculteur. Enfin des enquêtes ont été menées auprès des agriculteurs, des municipalités, des entreprises et des particuliers, sur leurs pratiques agricoles et de jardinage permettant d'appréhender l'usage des pesticides sur le terrain.

Les résultats ont ensuite été replacés dans leur contexte géographique et paysager pour une interprétation plus approfondie des données en tentant de mettre en évidence des effets de l'environnement dans la contamination des matrices apicoles sélectionnées comme cela a pu être effectué dans d'autres études (Tuzen *et al.*, 2007 ; Yarsan *et al.*, 2007 ; Perugini *et al.*, 2009 ; Bilandžić *et al.*, 2011 ; Perugini *et al.*, 2011 ; van der Steen *et al.*, 2011).

Pour cela nous avons réalisé une étude paysagère de l'aire de butinage des différents ruchers dans le but de discriminer des types paysagers et pouvoir faire des recoupements avec les données issues des analyses.

I.1. Analyse paysagère de l'environnement des ruchers

Une première **analyse paysagère** descriptive a été réalisée sur l'ensemble des **dix-huit ruchers**. Les deux ruchers insulaires ayant un paysage propre et atypique non comparable aux ruchers continentaux, ils n'ont pas été pris en compte dans la deuxième analyse paysagère plus fine (Cf. I.1.1. à I.1.3.). En effet l'aire de butinage des ruchers insulaires est différente de celle des ruchers continentaux, en termes de, surface de végétation présente mais également de degré d'anthropisation (**Figure 15**).

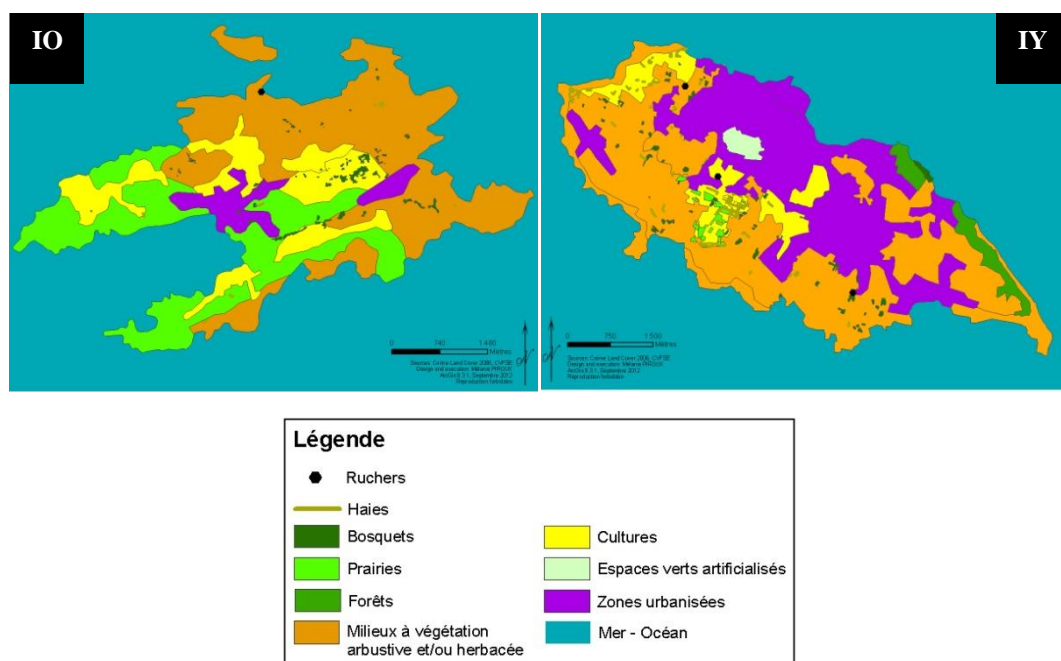


Figure 15. Représentation graphique des caractéristiques paysagères de composition et de structure des aires de butinage de chaque rucher insulaire (IO, île d'Ouessant et IY, île d'Yeu). Sources : Corine Land Cover (2006), conception et réalisation : Mélanie Piroux, CVFSE/Oniris ; Septembre 2012 ; ArcGis 9.3.1.

Dans le cadre de cette étude, les deux ruchers insulaires ont été choisis pour leur contamination chimique *a priori* moindre en comparaison à la contamination chimique supposée plus importante sur le continent.

I.1.1. Matériel et méthodes

L'aire de butinage étudiée autour de chacun des **seize ruchers** étudiés est de 2827 ha soit un rayon d'analyse de 3 km autour de chaque rucher. Cette surface correspond à un compromis entre les distances de butinage moyennes admises (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003 ; Janssens *et al.*, 2006) et les plus longues distances de butinage recensées (Visscher *et al.*, 1996), sachant que l'abeille favorise les ressources proches de la colonie.

Chaque aire de butinage a fait l'objet d'une analyse paysagère fine à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG) créé à partir du logiciel ArcGIS (versions 9.2 et 9.3.1). Le SIG a été construit à partir d'orthophotographies (BD Ortho[®], 2001 à 2005) acquises auprès de l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN) sur lesquelles sont venues se superposer des données d'occupation du sol (données Corine Land Cover⁶ 2006, données du registre parcellaire graphique de la Politique Agricole Commune 2007 et 2008, données d'enquêtes sur les pratiques agricoles 2008) ainsi que des données de structure du paysage telles que le linéaire de haies (digitalisation du réseau de haies sur la base de la BD Ortho[®] au 1/6000^{ème}). Le SIG a permis de visualiser l'ensemble des données sur des cartes dynamiques mais également d'effectuer des calculs de surfaces et de linéaires en vue d'analyses statistiques.

Quatorze variables synthétiques décrivant le paysage ont été choisies par agrégation de catégories d'occupation du sol plus détaillées (Appendix A, Piroux *et al.*, 2014a).

Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée à partir de ces données, suivie d'une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) afin de discriminer des types paysagers. Ces analyses ont été effectuées avec le logiciel statistique R (R Development Core Team, 2010).

I.1.2. Résultats

La caractérisation paysagère repose sur le choix de variables descriptives permettant de distinguer les types de paysage. Les surfaces urbanisées permettent de dégager les paysages urbains des paysages ruraux. Les prairies, les cultures, les bois et bosquets, les haies et la

⁶ Base de donnée géographique européenne issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires avec des données complémentaires d'appui (échelle de production : 1/100 000^{ème}).

taille moyenne des parcelles nous permettent de distinguer différents types de paysages en milieu rural (**Tableau 1**).

Tableau 1. Description de l'occupation du sol de l'aire de butinage de chaque rucher (*Autres cultures : sarrasin, chanvre, tabac ; †Autres : autre utilisation, usage non agricole, routes hors aire urbaine, ...).

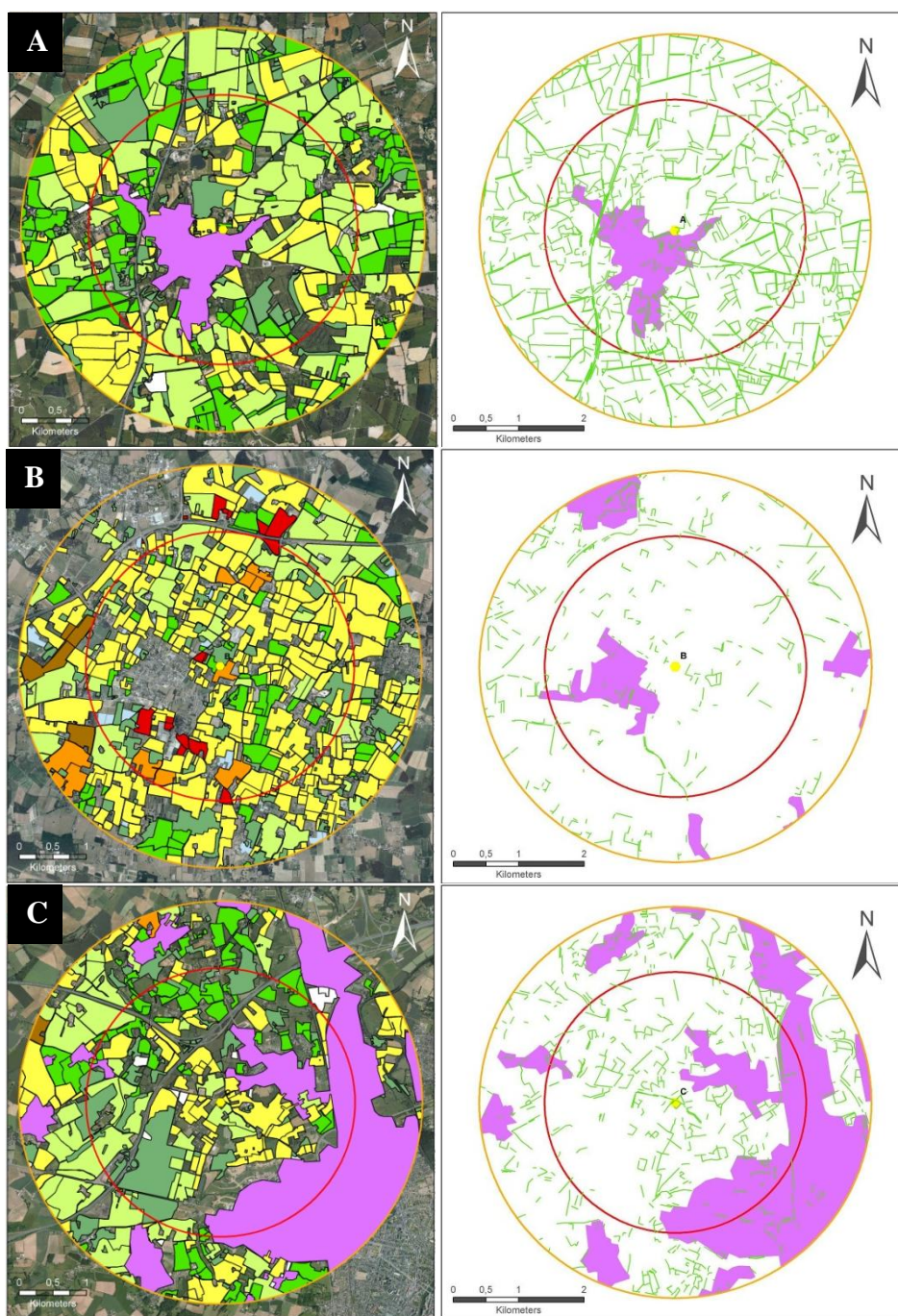
Ruchers	A	B	C	D	E	F	G	H
Prairies (ha)	1077	363	459	601	162	1292	404	547
Jachères (ha)	112	151	117	173	30	110	162	185
Cultures fourragères (ha)	26	17	16	5	0	0	76	31
Cultures céréalières (ha)	863	1328	609	889	142	880	931	1050
Cultures oléagineuses (ha)	97	101	49	80	9	81	208	56
Cultures permanentes (ha)	0	86	1	6	12	1	26	1
Maraîchage (ha)	0	12	0	67	11	10	54	7
Autres cultures* (ha)	1	2	0	0	0	17	59	0
Bois et bosquets (ha)	253	237	289	231	404	49	268	239
Aire urbaine (ha)	161	207	894	24	1325	127	210	82
Eau (ha)	0	0	0	0	197	0	0	0
Autres† (ha)	237	323	393	751	535	260	429	629
Haies (m/ha)	82	17	34	55	39	60	24	58
Surface parcellaire moyenne (ha)	5,1	4,4	3,8	4,2	3,1	5,1	3,3	3,4

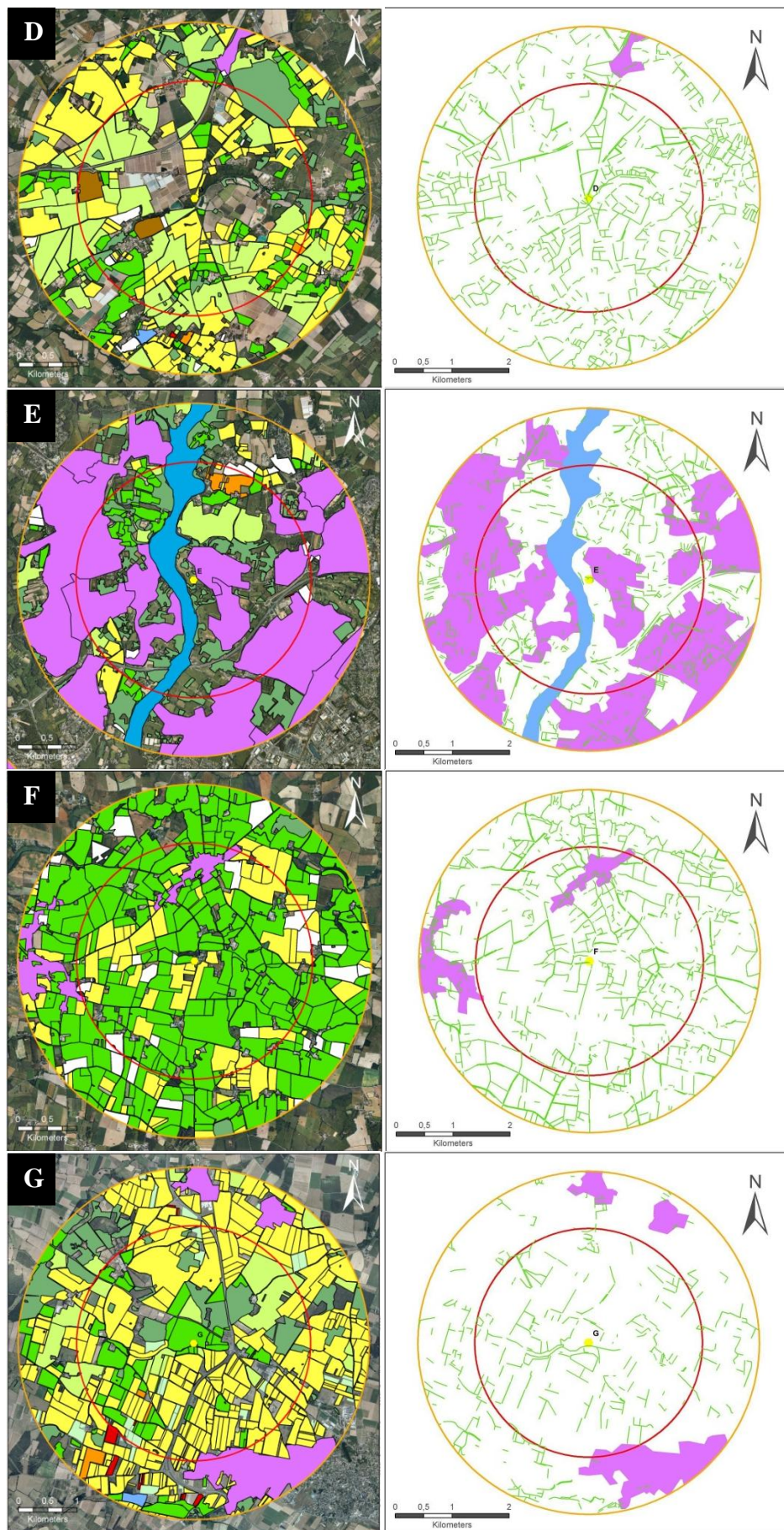
Ruchers	I	J	K	L	M	N	O	P
Prairies (ha)	916	562	4	816	1190	43	1272	271
Jachères (ha)	68	286	0	107	96	1	106	6
Cultures fourragères (ha)	38	22	0	32	137	0	25	1
Cultures céréalières (ha)	722	1483	0	1114	1068	16	855	471
Cultures oléagineuses (ha)	20	68	0	172	36	0	55	0
Cultures permanentes (ha)	0	9	0	0	0	0	37	0
Maraîchage (ha)	4	70	0	16	0	0	9	0
Autres cultures* (ha)	9	18	0	0	0	0	0	16
Bois et bosquets (ha)	58	101	98	237	54	157	75	417
Aire urbaine (ha)	338	27	2122	184	124	2223	185	1189
Eau (ha)	0	0	335	35	0	0	0	0
Autres† (ha)	654	181	268	114	122	387	208	456
Haies (m/ha)	69	35	13	33	59	18	87	45
Surface parcellaire moyenne (ha)	2,8	5,1	2,3	5,1	4,9	2,5	3,8	3,4

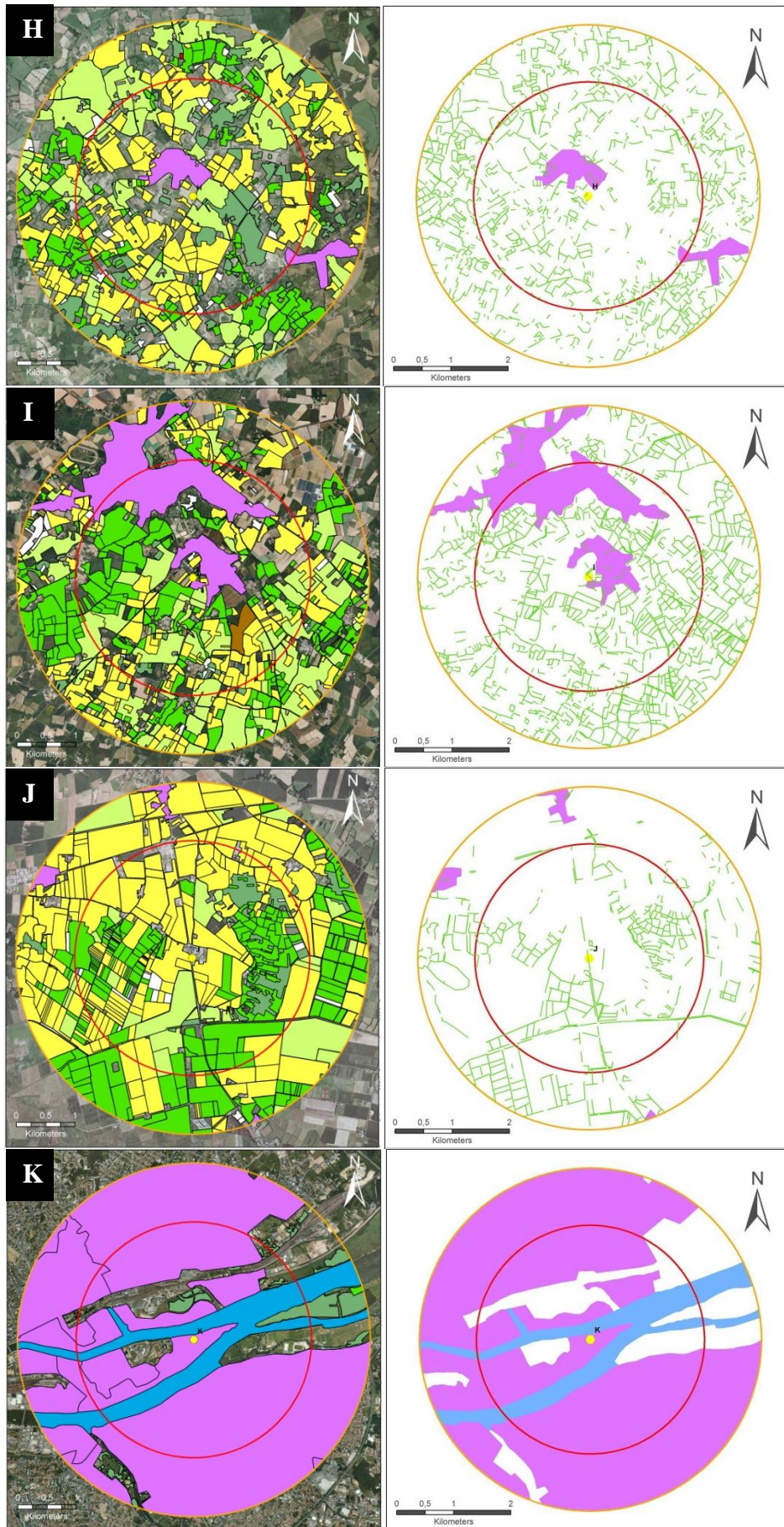
Les surfaces urbanisées sont plus importantes pour l'aire de butinage des ruchers N, K, E et P (plus de 42 % de la surface totale de l'aire de butinage). Les prairies sont dominantes pour les ruchers F, O, A et M. Dans le cas de l'aire de butinage du rucher M la proportion de surfaces cultivées est assez proche, cependant, de celle en surfaces prairiales. Les surfaces cultivées sont largement représentées dans les aires de butinage des ruchers J, G et B contrairement aux sites K, N, E et P.

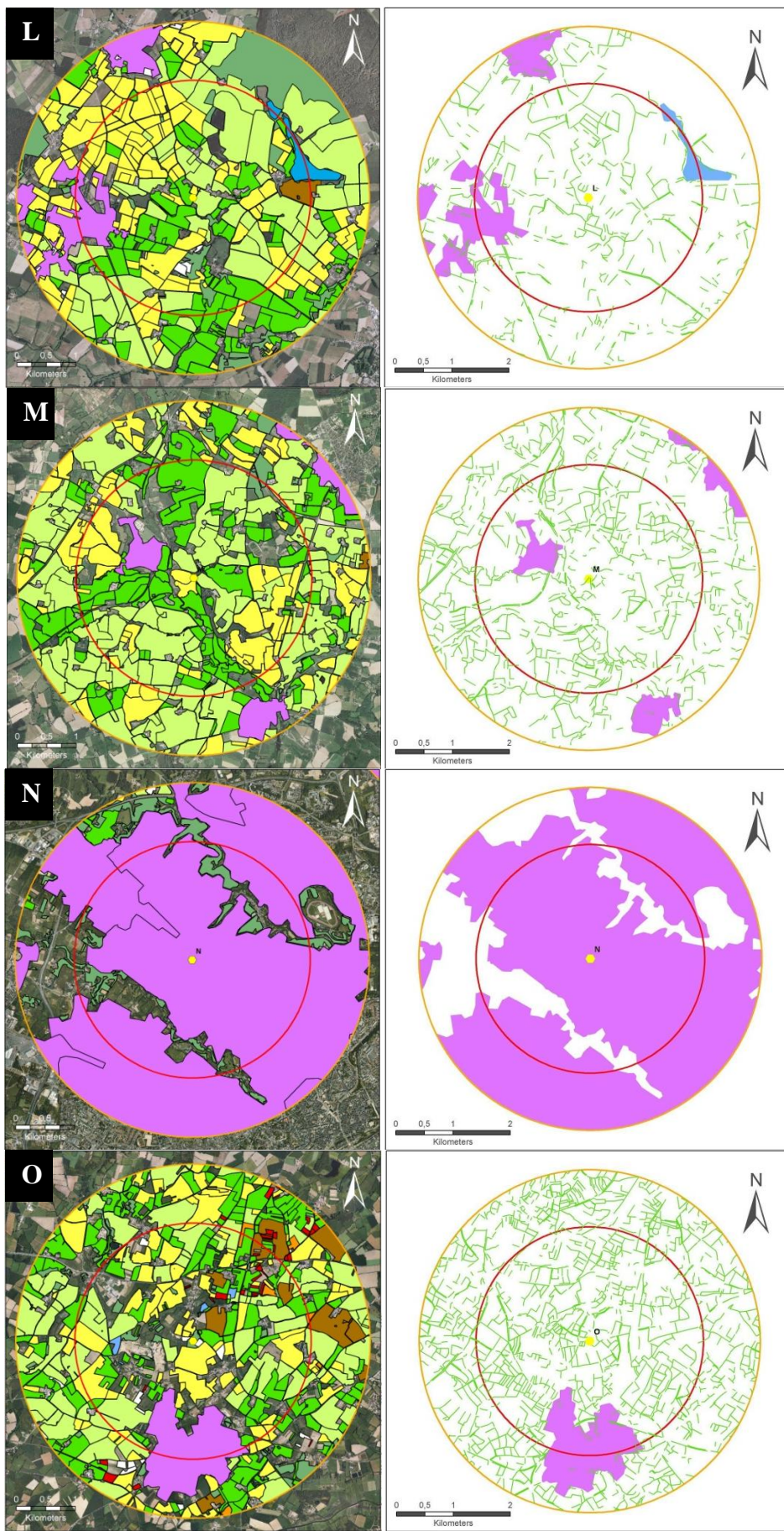
Le linéaire de haies varie entre 13 et 87 m/ha, et est plus important pour les ruchers O, A, I, F et M. La taille moyenne des parcelles varie entre 2,3 ha (K) et 5,1 ha (A, F, J, L) avec une moyenne de 3,6 ha et une médiane de 3,8 ha. Les ruchers C et O se situent au niveau de cette médiane.

Afin de mieux visualiser la composition et la structure des paysages de chaque aire de butinage, des cartes d'occupation du sol et de linéaires de haies ont pu être réalisées grâce au SIG (Figure 16).









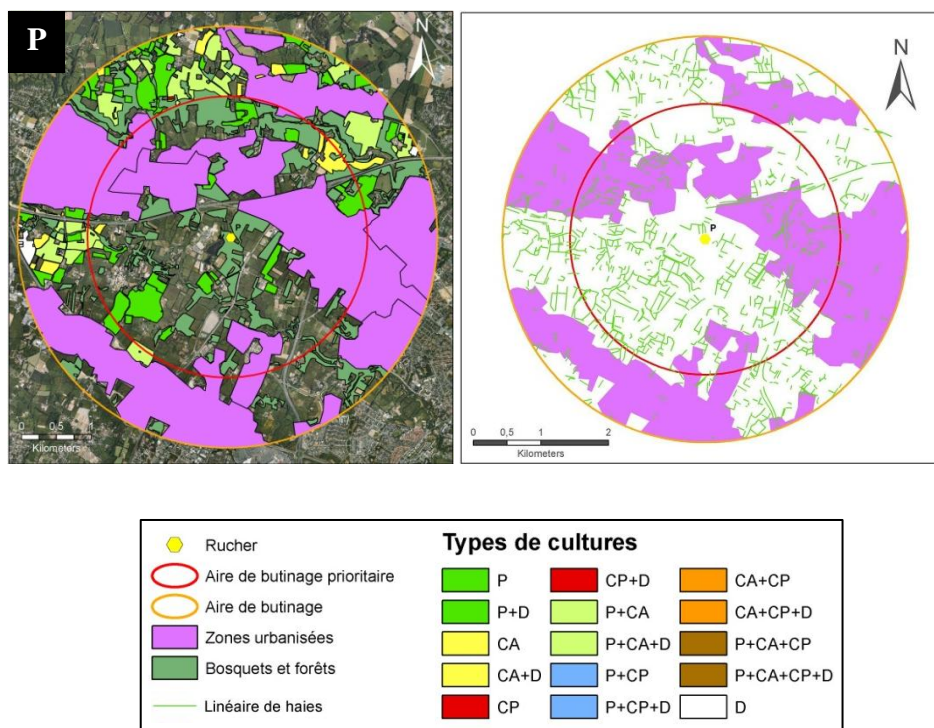


Figure 16. Représentation graphique des caractéristiques paysagères de composition et de structure des aires de butinage de chaque rucher continental (A à P) : à gauche, carte d'occupation des sols (P : prairies ; CA : cultures annuelles ; CP : cultures permanentes ; D : divers ; zones urbanisées, bosquets et forêts) ; à droite, carte du linéaire de haies. Sources : Corine Land Cover (2006), DRAAF RPG (2007 et 2008), BD Ortho® IGN (2001 à 2005) ; conception et réalisation : Romain Caseteuble, CVFSE/Oniris ; Juillet 2010 ; ArcGIS 9.2.

Le premier plan de l'**Analyse en Composante Principale** explique une inertie totale de 75,09 % avec un premier axe totalisant 50,68 % d'inertie et un second axe qui compte pour 24,41 % (Figure 17).

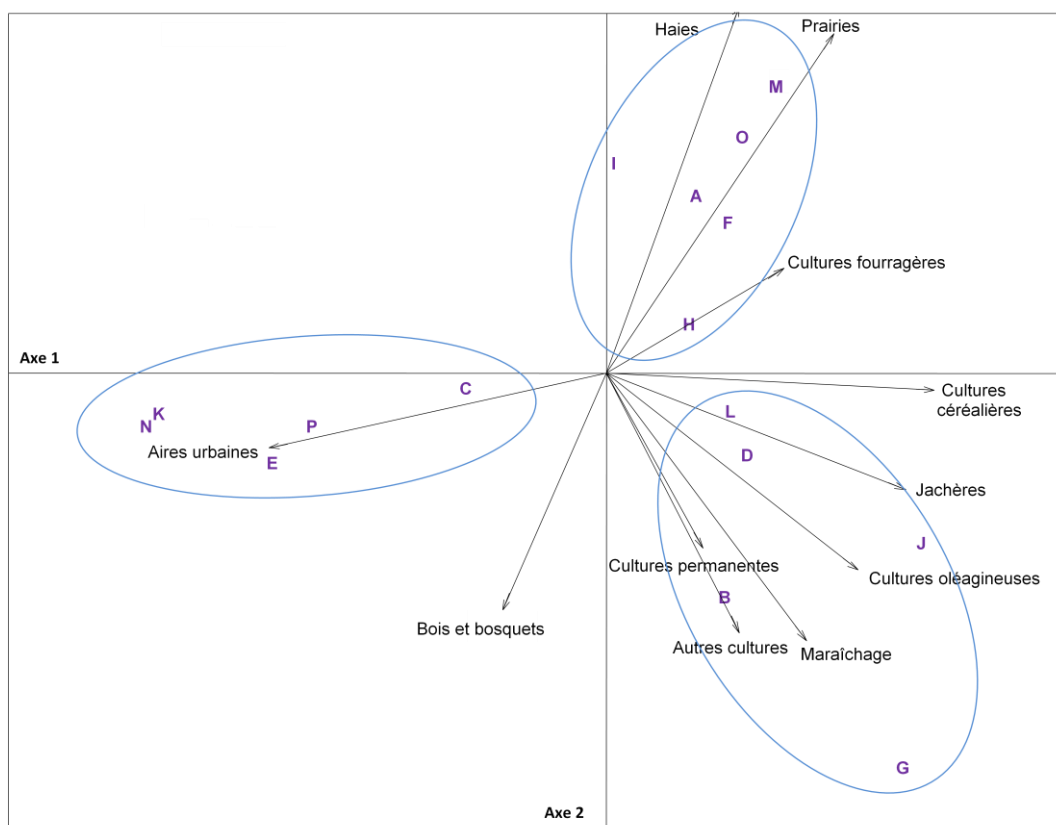


Figure 17. Représentation graphique de l'Analyse en Composante Principale et de la Classification Hiérarchique sur Composantes Principales obtenue à partir des variables paysagères des 16 ruchers continentaux (ruchers A à P).

Sur l'axe 1 du premier plan de l'ACP, les aires urbaines se distinguent nettement des aires rurales avec les variables « prairies », « haies », « maraîchage », « cultures céréalières », ... (Figure 17). Sur l'axe 2, les variables « haies », « prairies » et « cultures fourragères » s'opposent aux variables « jachères », « cultures oléagineuses », « maraîchage », « autres cultures », « cultures céréalières » et « cultures permanentes ».

Les variables « haies » et « prairies » sont étroitement corrélées ($r\text{-value} = 0,8$), tout comme les variables « cultures permanentes » et « maraîchage » ($r\text{-value} = 0,7$).

L'ensemble des variables nous permet de discriminer trois catégories de paysages : i/ un paysage caractérisé par des surfaces urbaines importantes et peu d'aires « rurales » (ruchers K, N, E, P et C), ii/ un paysage avec une prédominance de surfaces en prairies, un linéaire de haies important et des parcelles en moyenne de petite taille (ruchers A, F, M, I, O et H), et iii/ un paysage avec des surfaces cultivées dominantes (ruchers B, G, J, D et L).

I.1.3. Discussion

Les ruchers K et N sont les plus caractéristiques d'un paysage urbain en raison d'une surface urbanisée de l'aire de butinage supérieure à 50 %. Les ruchers E, P et C ont une surface urbanisée moindre (avec respectivement 46,9 %, 42,1 % et 31,6 % de l'aire de butinage), caractéristique du paysage péri-urbain mais peuvent être rapprochés, dans le cadre de notre étude, des paysages de type urbain.

Les autres aires de butinage s'inscrivent dans des paysages ruraux. Parmi ces ruchers, les aires de butinage A, F, M, I et O sont caractérisées par un linéaire de haies important, des prairies et des cultures fourragères. Ils constituent les ruchers en paysage bocager caractérisé par un linéaire de haies et une surface de prairies importants. Les aires de butinages B, D, G et J se différencient par leurs cultures (permanentes, oléagineux...), le maraîchage et les jachères : ce sont les ruchers de grande culture par opposition à ceux des paysages de bocage (Michel *et al.*, 2007).

L'aire de butinage du rucher H est caractérisée par un linéaire de haies important, caractéristique d'un paysage bocager, et d'une surface de cultures céréalières importante caractéristique d'un paysage de grande culture, mais non discriminant d'un type paysager particulier dans le cas de cette étude. En revanche, les prairies sont bien représentées et la surface moyenne des parcelles est relativement faible (2,9 ha). Or d'après Burel et Baudry (1990), une taille parcellaire importante est représentative d'une perte du linéaire de haies liée à l'utilisation de machines agricoles pour les cultures. On peut donc inscrire ce rucher en paysage bocager.

Inversement, l'aire de butinage associée au rucher L est caractérisée par une surface culturale importante et une surface parcellaire moyenne élevée (5,1 ha) ce qui nous permet de classer ce rucher dans un paysage de grande culture.

Cette analyse a permis de caractériser le type paysager de l'aire de butinage fixée à 3 kilomètres de rayon autour de chaque rucher. Durant leurs activités de butinage, les abeilles peuvent aller si nécessaire bien au-delà de cette limite arbitraire, et les analyses palynologiques du pollen de trappe et du miel récoltés peuvent apporter des informations complémentaires quant à la composition paysagère précise de l'environnement de l'aire de butinage réel des colonies (supérieur à 3 km).

I.2. Evaluation des ressources pollinifères et mellifères de l'étude « Abeille mellifère (*Apis mellifera*), témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager des Pays de la Loire » (étude 1)

Cette étude 1 nous a permis d'obtenir des informations sur les ressources pollinifères et mellifères de l'Abeille domestique, exploitées en 2008 et 2009, en fonction des ruchers, des périodes de l'année et des paysages.

I.2.1. Matériel et méthodes

Des **échantillons de pelotes de pollen et de miels** ont été prélevés pour chacun des 18 ruchers étudiés sur deux années consécutives (2008 et 2009). Les prélèvements ont été effectués quatre fois durant chaque saison apicole : au début du printemps⁷ (périodes 1 et 5 : fin avril, début mai), en fin de printemps, début d'été (périodes 2 et 6 : fin juin à début juillet), en plein été (périodes 3 et 7 : fin juillet, début août), et au début de l'automne (périodes 4 et 8 : fin septembre, début octobre). Les prélèvements de pelotes de pollen ont été réalisés dans les trappes à pollen, placées trois jours avant chaque période de prélèvement. Les échantillons ont été « poolés » pour disposer d'un échantillon de pelotes de pollen à l'échelle du rucher. Les échantillons de miel ont été réalisés dans la hausse dans la majorité des cas ou dans le corps de ruche mais de telle sorte que le miel soit le plus nouveau possible pour réaliser une image des ressources mellifères fleuries. Les échantillons ont été placés à -20°C aussitôt après le prélèvement.

Les **analyses palynologiques** ont été réalisées en accord avec la méthode européenne (von der Ohe *et al.*, 2004). Les échantillons de pelotes de pollen ont été analysés par l'Unité de Palynologie de Montpellier SupAgro et les échantillons de miel par Naturalim France Miel. La détermination des pollens étant complexe, leur identification, que ce soit dans les pelotes de pollen ou dans le miel, peut se faire à différents niveaux, famille, genre ou espèce ; nous parlerons donc de « **taxon pollinique** » quand il s'agit d'identifier plusieurs pollens différents qui n'ont pas le même niveau d'identification. Ainsi à titre d'exemples « Fabaceae », « type *Trifolium* » et « *Hedera helix* » sont trois taxons polliniques qui ont été identifiés respectivement à la famille, au genre et à l'espèce. Des calculs d'indices écologiques

⁷ Dans la suite du texte, sauf mention particulière, les termes « printemps », « été », « automne », « hiver » font référence aux saisons calendaires (définies selon le calendrier civil).

(richesse, diversité de Shannon, cf. Materials and Method, Piroux *et al.*, 2014a) et des analyses statistiques descriptives ont été réalisés sur la base de ces données palynologiques.

I.2.2. Résultats des analyses palynologiques de pelotes de pollen

Cent soixante-huit taxons polliniques ont été identifiés dans les pelotes de pollen prélevées dans les colonies des dix-huit ruchers étudiés (Tableau 2). La **richesse taxonomique** en paysage urbain est la plus importante si l'on compare avec les autres paysages. Le nombre de taxons polliniques identifiés en paysage de bocage ou de grande culture est comparable.

Tableau 2. Richesse taxonomique pollinique des pelotes de pollen en fonction des paysages sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

	Total	Bocage	Grande culture	Insulaire	Urbain
Nombre de ruchers	18	6	5	2	5
Richesse taxonomique	168	98	92	75	114

La richesse taxonomique des pelotes de pollen d'un rucher (en 2008 et en 2009) varie entre 30 et 60 taxons (Tableau 3). La variabilité du nombre de taxons est grande et les extremums sont localisés en paysage de bocage.

Tableau 3. Richesse et diversité pollinique des pelotes de pollen de chaque rucher sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

Rucher	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	IO	IY
Richesse taxonomique	30	52	59	38	54	33	41	60	52	53	57	33	31	56	46	41	36	59
Diversité taxonomique	2,18	2,64	2,57	2,41	2,47	2,31	2,7	2,62	2,66	2,63	2,91	2,28	2,38	2,47	2,48	2,5	1,94	2,47

La **diversité pollinique** varie entre 1,94 pour le rucher IO et 2,91 pour le rucher K (Tableau 3).

Le **nombre moyen de taxons polliniques** identifiés par échantillon de pelotes de pollen, en fonction du paysage, est relativement homogène, en dépit d'une valeur en paysage urbain qui apparaît plus élevée que la moyenne (Tableau 4). La variabilité du nombre de taxons identifiés est plus importante pour les ruchers situés en paysages urbain et insulaire.

Tableau 4. Nombre moyen de taxons polliniques par échantillon de pelotes de pollen dans chaque type de paysage, écart-type et nombre d'échantillons sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

	Bocage	Grande culture	Insulaire	Urbain
Nombre moyen de taxons par échantillon	11,59	10,95	11,63	13,46
Ecart-type	3,63	4,12	7,42	5,34
Nombre d'échantillons	41	38	16	35

Le nombre moyen de taxons polliniques identifiés par échantillon de pelotes de pollen en fonction de la période de l'année (**Tableau 5**) montre :

- une variabilité du nombre moyen de taxons polliniques entre 2008 et 2009 pour la même période considérée,
- un pic du nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen pendant les périodes 3 et 7 qui correspondent à des prélèvements effectués à la fin du mois de juillet, début du mois d'août,
- un nombre moyen de taxons plus faible pour les périodes 4 et 8, en fin de saison apicole (fin septembre, début octobre).

Tableau 5. Nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen, par période d'échantillonnage (1 à 8) tous paysages confondus et par type de paysage.

Période		1	2	3	4	5	6	7	8
Tous paysages confondus	Nombre moyen de taxons par échantillons	13,06	14,15	14,31	9,63	11,00	9,71	13,76	8,17
	<i>Ecart-type</i>	<i>5,47</i>	<i>3,87</i>	<i>4,05</i>	<i>4,77</i>	<i>2,63</i>	<i>3,75</i>	<i>6,17</i>	<i>4,24</i>
	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>16</i>	<i>20</i>	<i>16</i>	<i>16</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>17</i>	<i>12</i>
Bocage		14,50	12,00	12,50	9,60	11,40	10,17	10,83	11,67
Grande culture		11,00	13,60	12,40	12,50	9,00	8,40	13,60	6,50
Insulaire	Nombre moyen de taxons par échantillons	6,00	13,50	4,50	4,50	10,00	16,50	20,50	5,50
Urbain		18,33	16,58	9,40	9,40	13,50	7,25	15,00	8,67

A l'échelle de chaque type de paysage, le nombre moyen de taxons polliniques identifiés par échantillon de pelotes de pollen en fonction de la période de l'année ne montre pas nécessairement une baisse du nombre moyen de taxons polliniques en fin de saison apicole (**Tableau 5**).

En paysage insulaire, on note une accentuation de la variabilité du nombre moyen de taxons polliniques observée d'une année sur l'autre (le nombre moyen de taxons polliniques est multiplié quasiment par cinq entre la période 3 et 7). Ceci se vérifie en paysage de grande culture et en paysage urbain mais de façon moins importante. A l'inverse, en paysage de

bocage, le nombre moyen de taxons polliniques semble plus homogène d'une année sur l'autre.

Dans les échantillons de pelotes de pollen, les dix **taxons les plus représentés** (quantitatif) dans l'ensemble des ruchers sont semblables aux dix taxons les plus représentés pour chaque type paysager (**Tableau 6**).

Tableau 6. Taxons polliniques les plus présents dans les pelotes de pollen (quantitatif) sur l'ensemble des ruchers, par type paysager et en fonction des périodes.

18 ruchers	Bocage	Grande culture	Insulaire	Urbain	Périodes 1 et 5	Périodes 2 et 6	Périodes 3 et 7	Périodes 4 et 8
<i>Castanea</i>	<i>Castanea</i>	Brassicaceae	type <i>Rubus</i>	<i>Castanea</i>	type <i>Crataegus</i>	<i>Castanea</i>	Fabaceae	<i>Hedera helix</i>
<i>Hedera helix</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Castanea</i>	<i>Hedera helix</i>	<i>Hedera helix</i>	Brassicaceae	type <i>Lotus</i>	type <i>Trifolium</i>	Brassicaceae
Brassicaceae	type <i>Trifolium</i>	<i>Hedera helix</i>	<i>Genista</i>	Fabaceae	type <i>Prunus</i>	type <i>Rubus</i>	type <i>Rubus</i>	<i>Genista</i>
type <i>Rubus</i>	<i>Hedera helix</i>	Fabaceae	type <i>Crataegus</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Genista</i>	type <i>Trifolium</i>	type <i>Lotus</i>	Asteraceae liguliflores
Fabaceae	Brassicaceae	type <i>Trifolium</i>	<i>Castanea</i>	type <i>Crataegus</i>	<i>Rhamnus</i>	Fabaceae	<i>Plantago</i>	Fabaceae
type <i>Trifolium</i>	Fabaceae	type <i>Rubus</i>	Brassicaceae	type <i>Rubus</i>	<i>Salix</i>	type <i>Prunus</i>	Brassicaceae	<i>Mercurialis</i>
type <i>Crataegus</i>	type <i>Rubus</i>	type <i>Crataegus</i>	<i>Salix</i>	type <i>Lotus</i>	type <i>Genista</i>	type <i>Robinia</i>	type <i>Prunus</i>	Asteraceae tubuliflores
type <i>Lotus</i>	type <i>Crataegus</i>	type <i>Prunus</i>	Liliaceae	type <i>Prunus</i>	<i>Quercus</i>	Papaveraceae	<i>Gentiana</i>	type <i>Rubus</i>
type <i>Prunus</i>	type <i>Prunus</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Plantago</i>	Brassicaceae	type <i>Rubus</i>	Brassicaceae	<i>Helianthus</i>	type <i>Taraxacum</i>
<i>Genista</i>	type <i>Genista</i>	<i>Genista</i>	type <i>Genista</i>	<i>Plantago</i>	Rhamnaceae	type <i>Genista</i>	type <i>Toftelia</i>	type <i>Trifolium</i>

Les dix taxons les mieux représentés en paysage insulaire se distinguent de ceux identifiés dans les autres paysages. En paysage bocager, de grande culture et urbain, les taxons sont semblables mais la proportion retrouvée dans les pelotes de pollen est variable. En effet, le châtaignier (pollen identifié *Castanea*) apparaît en première position en paysage bocager et urbain alors qu'il n'apparaît respectivement qu'en deuxième et cinquième position pour les ruchers en paysage de grande culture et insulaire. En paysage de grande culture, le taxon pollinique majoritaire est Brassicaceae, un taxon regroupant aussi bien des espèces sauvages que cultivées dont le colza ou encore la moutarde alors qu'au sein des autres paysages le taxon pollinique le mieux représenté, parmi les dix plus présents, est un pollen d'espèce sauvage.

Les taxons polliniques identifiés varient d'une période à une autre durant l'année. En début de saison apicole (périodes 1 et 5), les taxons liés aux espèces ligneuses comme l'aubépine (type *Crataegus*), les prunelliers (type *Prunus*), les genêts (*Genista*), les saules (*Salix*), et certains taxons cultivés et/ou sauvages comme les Brassicaceae prédominent. A la fin du printemps

(périodes 2 et 6), les taxons ligneux identifiés en début de saison apicole sont encore fortement représentés avec certains taxons provenant d'espèces herbacées tels que le type *Lotus*, le type *Trifolium* ou encore les Fabaceae. Au cœur de l'été (périodes 3 et 7), les taxons herbacés, qu'ils soient sauvages (type *Trifolium*, type *Lotus*, *Plantago*) ou cultivés (Fabaceae, *Helianthus*) sont majoritaires. Peu de temps avant l'hivernage des colonies d'abeilles domestiques (périodes 4 et 8), le lierre, *Hedera helix*, est le taxon pollinique majoritaire suivi par les Brassicaceae, les genêts (*Genista*) ou encore les Asteraceae.

La concordance des taxons polliniques entre les paysages est nettement moins importante en considérant les taxons minoritaires identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen. Ainsi, certains pollens minoritaires vont être plus caractéristiques du type paysager dans lequel ont butiné les abeilles. C'est le cas notamment du taxon pollinique *Ziziphus* (le jujubier), qui provient d'une espèce originaire de pays tropicaux et subtropicaux (cultivée en France comme espèce ornementale), que l'on retrouve dans des pelotes de pollen récoltées au sein de ruchers en paysage urbain.

I.2.3. Résultats des analyses palynologiques du miel

Cent trente-deux taxons polliniques ont été identifiés dans les échantillons de miel prélevés dans les colonies des dix-huit ruchers étudiés (Tableau 7). La **richesse taxonomique** en paysage bocager est la plus importante et comparable à celle en paysage urbain. Elle est plus faible en paysage insulaire.

Tableau 7. Richesse taxonomique pollinique du miel en fonction des paysages sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

	Total	Bocage	Grande culture	Insulaire	Urbain
Nombre de ruchers	18	6	5	2	5
Richesse taxonomique	132	89	74	55	87

La richesse taxonomique du miel d'un rucher (en 2008 et en 2009) varie entre 31 et 49 taxons (Tableau 8). La variabilité du nombre de taxons du miel est faible par rapport à celle des pelotes de pollen et les extremums sont identifiés en paysage urbain.

Tableau 8. Richesse et diversité pollinique du miel de chaque rucher sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

Rucher	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	IO	IY
Richesse taxonomique	35	38	38	36	31	38	38	43	42	37	49	36	37	44	39	45	35	41

Le **nombre moyen de taxons polliniques** identifiés par échantillon de miel, en fonction du paysage, est homogène, même si la valeur en paysage urbain est plus forte, comme c'est le cas pour les pelotes de pollen ([Tableau 9](#)). En revanche, la variabilité du nombre de taxons identifiés est comparable pour l'ensemble des paysages.

Tableau 9. Nombre moyen de taxons polliniques par échantillon de miel dans chaque type de paysage, écart-type et nombre d'échantillons sur les deux années confondues, 2008 et 2009.

	Bocage	Grande culture	Insulaire	Urbain
Nombre moyen de taxons par échantillon	10,69	10,45	10,56	11,18
Ecart-type	3,62	2,36	3,67	3,07
Nombre d'échantillons	48	40	16	38

Le nombre moyen de taxons polliniques identifiés par échantillon de miel est homogène entre les périodes et varie de 9,72 à 12,35 ([Tableau 10](#)). A l'échelle du paysage, la variabilité d'une période à une autre est plus importante pour les ruchers insulaires qui présentent également le nombre moyen de taxons polliniques le plus faible dans le miel.

Tableau 10. Nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans le miel, par période d'échantillonnage (1 à 8) tous paysages confondus et par type de paysage.

Période		1	2	3	4	5	6	7	8
Tous paysages confondus	Nombre moyen de taxons par échantillons	10,33	11,22	10,83	9,72	12,35	10,28	10,67	10,59
	Ecart-type	3,14	2,58	3,37	3,03	3,2	3,18	2,99	3,57
	Nombre d'échantillons	18	18	18	18	17	18	18	17
Bocage		10,17	11,17	10,00	8,17	14,00	8,67	12,67	10,67
Grande culture		11,40	10,60	11,80	8,00	11,20	10,80	9,40	10,40
Insulaire	Nombre moyen de taxons par échantillon	9,50	13,50	7,00	13,50	9,00	12,50	9,50	10,00
Urbain		9,80	11,00	12,40	11,80	13,00	10,80	10,00	11,00

Les **taxons polliniques quantitativement majoritaires** dans le miel sont dans l'ordre décroissant : le châtaignier, le Trèfle blanc, les fruitiers, la ronce, le lotier, le saule, le colza, le lierre, le nerprun et les Brassicaceae. Parmi ces taxons, figurent des espèces sauvages ligneuses ou herbacées mais également des espèces cultivées.

I.2.4. Discussion

En paysage urbain, la richesse taxonomique pollinique des pelotes de pollen et le nombre moyen de taxons par échantillon sont les plus élevés. Ceci peut s'expliquer par le fait que les ruchers bénéficient d'une source supplémentaire de ressources pollinifères en lien avec la richesse importante en ressources ornementales et exotiques dans ce type de milieu (Thompson *et al.*, 2003 ; Loram *et al.*, 2008). Ces espèces ornementales et exotiques peuvent être renouvelées au gré des saisons et d'une année sur l'autre et ainsi expliquer une variabilité élevée du nombre moyen de taxons polliniques. A l'inverse, en paysage insulaire, la richesse pollinique est faible. Cela est vraisemblablement lié au fait que les ressources sont limitées sur les îles (Kreft *et al.*, 2008). Une autre raison pouvant expliquer cette faible richesse taxonomique pollinique est que le nombre de taxons polliniques n'a été recensé que sur deux ruchers et non cinq ou six comme dans les autres types paysagers. De plus, les disproportions de surfaces fleuries dans l'île au cours de la saison peuvent également conduire à une variabilité importante du nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen.

En paysage de bocage et de grande culture, la richesse taxonomique des pelotes de pollen est semblable, mais l'évolution du nombre moyen de taxons polliniques est différente entre les deux ruchers au cours de la saison. En paysage de bocage, le nombre moyen de taxons polliniques identifiés au cours des saisons est relativement constant d'une année sur l'autre. Ceci peut s'expliquer notamment par la stabilité des surfaces boisées (haies, bois, bosquets) dans le temps ainsi que les ressources végétales qui les composent (Burel & Baudry, 1995b). En paysage de grande culture, la rotation des cultures ou encore le retournement des prairies peuvent entraîner le remplacement des surfaces à potentiel pollinifère par des surfaces de moindre intérêt (Louveau, 1985) et peuvent ainsi expliquer la variabilité du nombre moyen de taxons polliniques d'une année sur l'autre.

A l'échelle du rucher, la richesse et la diversité polliniques sont variables, et le contexte paysager ne semble pas influencer ces indices écologiques.

Les taxons majoritaires identifiés dans les pelotes de pollen sont uniformes aussi bien à l'échelle des ruchers étudiés qu'à l'échelle des types paysagers. Au cours de la saison apicole,

et en fonction des périodes d'échantillonnage, les taxons se succèdent : une majorité d'espèces ligneuses au début du printemps, des espèces sauvages ligneuses et herbacées et des espèces cultivées à la fin du printemps, des espèces herbacées sauvages et cultivées en été et du lierre et des espèces sauvages herbacées et cultivées en fin d'été.

Les analyses de miel reflètent une variabilité de richesse taxonomique moins importante entre les types paysagers et entre les différents ruchers étudiés que dans les pelotes de pollen. De plus le nombre moyen de taxons polliniques par échantillon de miel est homogène, que ce soit à l'échelle du paysage ou de la période d'échantillonnage. Cela peut s'expliquer par la nature même du miel et son utilisation au sein de la ruche : stocké, déstocké et re-stocké en fonction des besoins de la colonie, ces échanges entraînent un « mélange » de miels et donc une uniformisation de sa richesse pollinique conduisant à la production de miel toutes fleurs en grande majorité. En paysage insulaire, la variabilité du nombre moyen de taxons polliniques par échantillon de miel reste importante par rapport aux autres paysages, comme c'est le cas avec les pelotes de pollen, et peut s'expliquer par les mêmes raisons, c'est-à-dire des ressources peu abondantes dans l'aire de butinage et un choix limité pour les abeilles qui conduisent à la production de miel de « cru » par les apiculteurs.

Dans l'ensemble, la richesse pollinique des pelotes de pollen peut varier d'un paysage ou d'un rucher à un autre mais les ressources polliniques majoritaires sont semblables. La richesse pollinique du miel est plus homogène en fonction du rucher ou du paysage mais les pollens sont comparables à ceux récoltés en pelotes. Ainsi, l'apiculteur doit être vigilant sur l'installation du rucher et privilégier des sites où les ressources pollinifères et mellifères abondent. Certains cas particuliers sont à prendre en compte, notamment en paysage insulaire. Certains pollens pouvant être des marqueurs d'un type paysager, il devenait intéressant de chercher à savoir si l'ensemble des taxons polliniques identifiés dans cette étude était en mesure de discriminer l'appartenance paysagère de nos ruchers.

I.3. Discrimination paysagère : données d'occupation du sol et/ou données palynologiques

L'analyse paysagère a pu être couplée aux analyses palynologiques réalisées sur les échantillons de pelotes de pollen pour tenter de mettre en évidence les caractéristiques d'un

paysage grâce aux profils palynologiques. Ce travail a fait l'objet d'un article publié dans la revue *Applied Ecology and Environmental Research* (Piroux *et al.*, 2014a).

CORRELATING THE POLLENS GATHERED BY *APIS MELLIFERA* WITH THE LANDSCAPE FEATURES IN WESTERN FRANCE

PIROUX¹, M. –LAMBERT^{1*}, O. –PUYO¹, S. –FARRERA², I. –THORIN³, C. –
L'HOSTIS¹, M. –VIGUES^{4,5}, B. –BASTIAN^{6,7}, S.

¹LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, Plateforme Environnementale Vétérinaire, Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes des Pays de la Loire (CVFSE), Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, Nantes, F-44307, France
(phone: +33 (0)2 40 68 77 76)

²Montpellier SupAgro Unité d'Expertise 3P « Phytoprotection, Pathologie des abeilles, Palynologie »,
Domaine de la Valette, 900 rue JF Breton, Montpellier, F-34090, France

³LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, Unité de Statistiques,
Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, Nantes, F-44307, France

⁴Clermont Université, Université Blaise Pascal, Laboratoire « Microorganismes: Génome et Environnement »,
BP10448, Clermont-Ferrand, F-63000, France

⁵CNRS, UMR 6023, LMGE,
24 Avenue des Landais, BP 80026, Aubière, F-63171, France

⁶LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, UMR1300 Biologie,
Epidémiologie et Analyse de Risque en Santé animale,
Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, Nantes, F-44307, France

⁷INRA, UMR1300,
Nantes, F-44307, France

*Corresponding author
e-mail: olivier.lambert@oniris-nantes.fr

Résumé. La santé de l'abeille est dépendante de différents facteurs, dont la disponibilité des ressources alimentaires et l'exposition chronique à des toxiques dans l'aire de butinage. Ces paramètres peuvent être évalués grâce à l'usage d'indicateurs comme le pollen ramené à la ruche ou les composants paysagers de l'aire de butinage incluant la structure, l'occupation du sol ou la densité d'éléments spécifiques du paysage tels que les haies.

Cette étude analyse la corrélation entre la diversité des pollens collectés dans seize ruchers de l'ouest de la France et les composants du paysage dans un rayon de 3 km grâce à un Système d'Information Géographique. Les analyses palynologiques ont été réalisées sur des pelotes de pollen collectées dans seize ruchers de l'ouest de la France pendant un an. La richesse, la diversité et des indices de similarité ont été calculés pour les données d'occupation du sol et les données palynologiques puis comparés. L'analyse de l'occupation du sol a permis l'identification de trois contextes paysagers différents (bocager, cultivé et urbain). Les profils palynologiques étaient très divers avec un certain nombre de taxons identiques entre ruches. La richesse floristique était plus importante dans les ruchers en paysage de type urbain que dans les ruchers en paysage rural au regard de la couverture du sol. Les analyses statistiques n'ont pas permis d'associer une flore spécifique avec un type paysager. Cependant, il est possible de distinguer les pollens récoltés par les abeilles en paysage urbain par rapport aux pollens rapportés à la ruche en paysage rural.

Mots clés : aire de butinage, occupation du sol, palynologie, abeilles

Abstract. Honey bee health depends on various factors, including the availability of food resources and chronic exposure to toxins in the foraging area. These parameters can be evaluated using indicators based on either pollen gathered to the hive or landscape features of the foraging area, including the structure, land use, or density of such specific landscape elements as hedgerows.

This study examines the correlation between the diversity of pollens gathered and the landscape features in a 3-km radius using Geographic Information System technology.

Palynological analyses were performed on pollen pellets collected from sixteen apiaries in western France during one year. Richness, diversity and similarity indices were calculated for land-cover features and palynological data and then compared. The land-cover analyses permitted the identification of three different landscape contexts (hedgerow, cultivated, and urban landscapes). Although the palynological profiles were highly diverse, some taxa were conserved between hives. The flower richness was greater in the apiaries from urban landscapes than in apiaries from rural landscapes, regardless of the dominant land-cover. The statistical analysis did not associate a specific flora with a specific landscape. However, it was possible to distinguish the pollen gathered by bees in urban landscapes and from pollen collected in rural areas.

Keywords: *foraging area, land-cover, palynology, honey bees*

Introduction

Profound changes in urban and farming landscapes have occurred over the last decade, and the increasing human population has led to expanding urbanization and modifications to urban and suburban landscapes (Loibl and Toetzer, 2003). Similarly, profound changes in agricultural practices induced by agricultural production methods, technological advances and government policies, have modified the landscape structure and composition (Burel and Baudry, 1990; Macdonald and Johnson, 2000; Robinson and Sutherland, 2002; Le Féon *et al.*, 2010). This agricultural intensification has affected land-use patterns, resulting in 1) a large increase in cultivated areas, 2) fragmentation of uncultivated features including forests, hedgerows (Burel and Baudry, 1999), and natural meadows (Monteiro *et al.*, 2011), and 3) the loss of these semi-natural elements (Agger and Brandt, 1988; Hobbs *et al.*, 2008). Furthermore, the decrease in landscape heterogeneity has contributed to the decline of biodiversity (McLaughlin and Mineau, 1995; Krebs *et al.*, 1999; Holzschuh *et al.*, 2007; Le Féon *et al.*, 2010; Potts *et al.*, 2010) through the loss of suitable habitats and food resources for many species of wild flora and fauna (Robinson and Sutherland, 2002; Benton *et al.*, 2003; Carvell *et al.*, 2007; Hannon and Sisk, 2009).

The composition and structure of the landscape have strong effects on honey bees, particularly with regard to the pollen collected and the abundance of flower-visiting bees (Steffan-Dewenter *et al.*, 2002; Steffan-Dewenter and Kuhn, 2003). Fragmentation has an impact on the distribution of plants and the distribution of animals in relation to the modification of patch size, edges, and landscape connectivity (Hadley and Betts, 2012), and the loss of habitat decreases the plant density and has a negative impact on the abundance of pollinators (Hadley and Betts, 2012). In fact, flower richness and abundance are important for the food balance of honey bees and thus for the health of the colony (Crailsheim *et al.*, 1992; Alaux *et al.*, 2010). Furthermore, environmental pollution in landscape contaminates bees and beehive products (Balayiannis and Balayiannis, 2008; Perugini *et al.*, 2009; Lambert *et al.*, 2012).

The qualification of the landscape context is therefore important to predict the food resources and toxic exposure of honey bee colonies. However, the extent to which the pollen collected around an apiary is correlated to the surrounding landscape composition and thus with the landscape context remains questionable. As an example, apiaries surrounded by high-intensity agriculture and isolated from semi-natural habitats are expected to exhibit a lower floral diversity in the collected pollen, whereas apiaries in proximity to greater proportions of urban habitats could have higher levels of floral diversity represented in the pollen stores, as related to the variety of urban ornamental species. In an attempt to address these questions, the landscape variables of a foraging area and palynological data were compared in an array of 16 apiaries within different landscape contexts. The results are discussed with respect to the particular landscape components, cultural practices and/or selective foraging that could have an impact on the diversity of the pollen returned to the apiaries.

Materials and Methods

Study area

Sixteen apiaries owned by sixteen different volunteer beekeepers were selected to for this study. The apiaries, indicated by a letter (A to P), were located in six departments in western France (*Fig.1*): nine apiaries in Loire-Atlantique (44, France), two in Vendée (85, France), two in Maine et Loire (49, France), two in Sarthe (72, France), one in Mayenne (53, France).



Figure 1. Location of the sixteen apiaries.

The foraging distance depends on landscape structure and food resources (Beekman and Ratnieks, 2000; Steffan-Dewenter and Kuhn, 2003) and can reach 13.5-km (to collect nectar)

(Visser *et al.*, 1996). Nevertheless, the average foraging distance varies between 1.5-km (Steffan-Dewenter and Kuhn, 2003) and 6.1 km (Beekman and Ratnieks, 2000), with resources near the beehives being favored. As a compromise between the highest values and the average of foraging distance, a radius of 3 kilometers was chosen for the foraging area (2827 ha) in the present study.

Landscape analysis

The land-cover data used for the analysis was obtained from the European data base Corine Land Cover (2006) for the categories urban areas, woodland, and water. The identification system for agricultural plots from the Common Agricultural Policy of Europe (2008) was used for the cultivated areas of annual crops and permanent and market garden crops and grassland. Missing land-use data for agriculture were complemented by a field survey (a direct questionnaire and visit to the farmers in the foraging areas). The hedgerow networks and copses were digitized manually on the basis of satellite pictures (BD Ortho® IGN, 2004) using ArcGis 9.2. The areas, hedgerow density, and average plot size were calculated using ArcGis 9.2.

The fourteen synthetic variables describing land-use were chosen by aggregating more detailed categories (*Table 1* and *Appendix A*). The objective was to retain sufficient details to discriminate among the different landscape types.

Table 1. Description of the variables (*Declarative data for 2008 of the agricultural parcel identification system of Council Regulation (EC) N° 1593/2000 of 17 July 2000; †Annual crops).

Variables	Description	Source	Units
Grassland	natural meadows, temporary meadows	*	ha
Fallow land	fallow land	*	ha
Forage crops†	forage, broad bean, pea	*	ha
Grain crops†	oat, wheat, maize, barley, rye	*	ha
Oleaginous crops†	colza, flax, sunflower	*	ha
Permanent crops	vineyard, orchard	*	ha
Market gardens	fruit, vegetable, aromatic plant	*	ha
Other crops†	buckwheat, hemp, tobacco	*	ha
Wood and copse		Corine Land Cover 2006 Digitized on BD ORTHO® IGN (2004)	ha
Urban area	urban infrastructure, airport	Corine Land Cover 2006	ha
Water		Corine Land Cover 2006 (51.1/51.2)	ha
Others	other utilization declared, no agricultural use, area not determined	*	ha
Hedge		Digitized on BD ORTHO® IGN (2004)	m/ha
Average plot size		Field survey among farmers in the foraging area	ha

Pollen sampling and analysis

The pollen pellets were collected from eight colonies in each apiary in 2008. The samples were collected four times during the apicultural season: at the onset of beehive activity after wintering (Period 1: end of April – beginning of May); at the beginning of honey foraging (Period 2: beginning of June – end of July); during the middle-end stage of honey foraging (Period 3: end of July – beginning of August) and during over wintering preparation (Period 4: end of September – beginning of October).

The samples were collected in pollen trap set up by the beekeepers three days before the sample was removed. The field-collected samples were placed immediately on ice and stored in a standard freezer at -20°C until analysis.

The palynological analyses of the pollen pellets were performed by the Unité de Palynologie from Montpellier SupAgro using the method of Cour (Patent CNRS-ANVAR, Cour, 1974) in accordance with the European method (Von der Ohe et al., 2004). For this study, the raw data were processed at the taxonomic level of the plant family.

Data analysis

According to the experimental design, two datasets have been constituted: one for the landscape data and one for the pollen data. The statistical analysis managed to explore and compare the diversity of those datasets. In a first description stage, the richness and index of diversity were evaluated for species from the plant family (pollen) and for landscape from the land-cover data. Indices of diversity were calculated using Shannon's formula

$$H_s = - \sum p_i \ln(p_i) \quad (\text{Eq. 1})$$

where (i) refers to a species and $p_i = \frac{n_i}{N}$ with n_i being the number of individual species and N the overall number of individuals for all species. The Shannon indices of species on one hand and landscape in other hand were compared with a Spearman's test.

In a second description stage, the indices of similarity, Brain-Curtis index, were calculated for each data set. Then, dendrograms were generated illustrating the similarity of the apiaries for species and for landscape. The comparison of those similarity matrices was achieved by a Mantel's test performed with 5000 randomizations.

In a third description stage, a multivariate method as Canonical Correlation Analysis (CCA) was used to analyse simultaneously the plant family profiles in the pollen pellets and the land-cover features. This method explores the sample correlation between two sets of quantitative variables observed on the same experimental units (Ter Braak and Verdonschot, 1995; Gonzales *et al.*, 2008).

The statistical analysis were performed with R software (R 2.12, R development Core Team, 2011) using the “Vegan” package for factor analysis.

Results

Landscape data

Table 2 and figure 2 show the composition and structure of the sixteen foraging areas.

Table 2. Characteristics of the sixteen apiary foraging areas: composition (grassland, fallow land, forage crops, grain crops, oleaginous crops, permanent crops, market gardens, other crops, wood and copse, urban, water and others) and structure (hedgerow density and average plot size).

Apiary	A	B	C	D	E	F	G	H
Grassland (%)	38.1	12.8	16.2	21.2	5.7	45.7	14.3	19.3
Fallow land (%)	4.0	5.3	4.2	6.1	1.0	3.9	5.7	6.5
Forage crops (%)	0.9	0.6	0.6	0.2	0.0	0.0	2.7	1.1
Grain crops (%)	30.5	47.0	21.6	31.5	5.0	31.1	32.9	37.2
Oleaginous crops (%)	3.4	3.6	1.7	2.8	0.3	2.8	7.3	2.0
Permanent crops (%)	0.0	3.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.9	0.0
Market gardens (%)	0.0	0.4	0.0	2.4	0.4	0.3	1.9	0.3
Other crops (%)	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.6	2.1	0.0
Wood and copse (%)	8.9	8.4	10.2	8.2	14.3	1.7	9.5	8.5
Urban area (%)	5.7	7.3	31.6	0.8	46.9	4.5	7.4	2.9
Water (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0
Others (%)	8.4	11.4	13.9	26.6	18.9	9.2	15.2	22.2
Hedges (m/ha)	82	17	34	55	39	60	24	58
Average area of plot (ha)	5.1	4.4	3.8	4.2	3.1	5.1	3.3	3.4

Apiary	I	J	K	L	M	N	O	P
Grassland (%)	32.4	19.9	0.1	28.9	42.1	1.5	45.0	9.6
Fallow land (%)	2.4	10.1	0.0	3.8	3.4	0.0	3.8	0.2
Forage crops (%)	1.3	0.8	0.0	1.1	4.8	0.0	0.9	0.0
Grain crops (%)	25.5	52.5	0.0	39.4	37.8	0.6	30.2	16.7
Oleaginous crops (%)	0.7	2.4	0.0	6.1	1.3	0.0	2.0	0.0
Permanent crops (%)	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0
Market gardens (%)	0.2	2.5	0.0	0.6	0.0	0.0	0.3	0.0
Other crops (%)	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Wood and copse (%)	2.1	3.6	3.5	8.4	1.9	5.6	2.7	14.8
Urban area (%)	12.0	1.0	75.1	6.5	4.4	78.6	6.5	42.1
Water (%)	0.0	0.0	11.9	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Others (%)	23.1	6.4	9.5	4.0	4.3	13.7	7.4	16.1
Hedges (m/ha)	69	35	13	33	59	18	87	45
Average area of plot (ha)	2.8	5.1	2.3	5.1	4.9	2.5	3.8	3.4

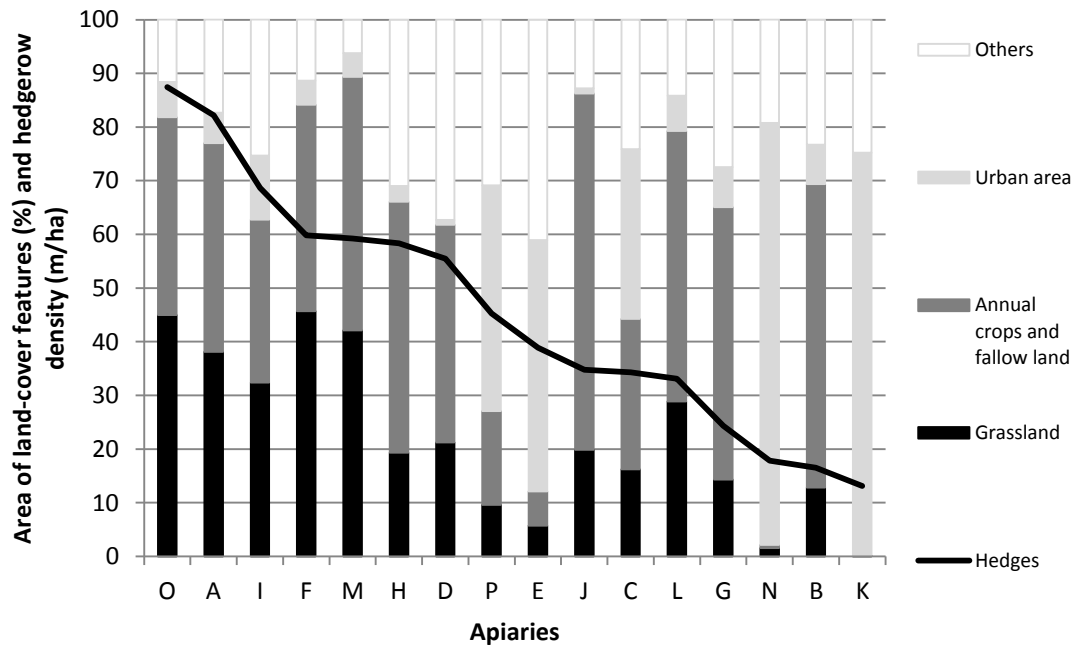


Figure 2. Area of land-cover features (% of total surface) and hedgerow density (m/ha) of the sixteen apiary foraging areas (apiaries ranked by hedgerows density).

For apiaries N, K, E and P, 40% of the foraging area comprised urban areas. The grasslands were dominant in foraging areas F, O, and M, covering more than 40% (1000 ha) of the entire foraging area (Table 2, Figure 2). The crops were less represented in apiaries K, N, E, and P apiaries (less than 20 %) in contrast to the J and B sites, which contained more than 1500 ha of crops, covering more than 50 % of the foraging area.

The hedgerow length comprised between 13 and 87 m/ha and was more important for the O, A, I, F, M, H, and D apiaries (Table 2, Figure 2). The average plot size varied between 2.3 ha (K) and 5.1 ha (A, F, J, and L), with an average of 3.6 ha and a median of 3.8 ha. Apiaries C and O were situated at the median level.

The landscape richness was more important for the B, G, and J apiaries (Table 3) and less important for the K, M, N, and P apiaries. The landscape diversity (Table 3) was high for apiaries B, C, and G and low for apiaries K, M, and N.

Table 3. Landscape richness and diversity of the sixteen apiary foraging areas

Apiary	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Landscape richness	9	11	9	10	10	10	11	10	10	11	5	10	8	6	10	8
Shannon index (H)	1.61	1.71	1.73	1.68	1.56	1.43	2	1.65	1.6	1.5	0.82	1.67	1.4	0.72	1.5	1.51

Figure 3 shows the similarity between the land-cover of the sixteen foraging areas. The apiaries were differentiated into four groups: a first group including the K, N, E, C, and P

apiaries, a second including the J, L B, and G apiaries, a third including the A, F, M, and O apiaries, and the last including the D, H, and I apiaries.

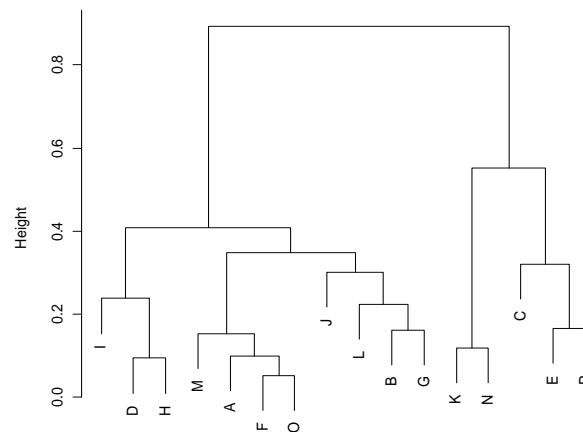


Figure 3. Dendrogram built from a similarity index (Bray-Curtis) of land-cover data of the sixteen apiary foraging areas.

Palynological data

Fifty-four families of wild and cultivated species were identified in the pollen pellets (*Table 4*). Some families were present in only one apiary (e.g., Arecaceae, Malvaceae) whereas others (i.e., Asteraceae, Brassicaceae, Fabaceae, Fagaceae, Poaceae, and Rosaceae) were present in all apiaries.

The pollen profiles of apiaries K and C had the highest richness (*Table 5*), in contrast to apiaries F and M, with the lowest richness. The diversity index was more important for the palynological profiles of the K, G, and N (*Table 5*) apiaries, whereas the Shannon diversity index was less important for the palynological profiles of the A, E, and M apiaries.

Table 5. Pollen richness and diversity of the sixteen apiary foraging areas

Apiaries	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Pollen richness	18	24	30	19	27	13	14	26	20	23	31	16	13	28	22	21
Shannon index (H)	1.48	1.56	1.57	1.76	1.51	1.7	1.98	1.87	1.87	1.71	2.19	1.58	1.51	1.89	1.54	1.78

Table 4. Plant family profiles in the pollen pellets collected from sixteen apiaries (white=absence of the family; black=presence of the family). The apiaries are classified according to the number of families represented in the pollen profile, from the most important to the least important. The species are classified according to their presence in the set of apiaries.

Apiaries	K	C	N	E	H	B	J	O	P	I	D	A	L	G	F	M
Asteraceae																
Brassicaceae																
Fabaceae																
Fagaceae																
Poaceae																
Rosaceae																
Rhamnaceae																
Plantaginaceae																
Araliaceae																
Cistaceae																
Nelumbonaceae																
Ranunculaceae																
Boraginaceae																
Caprifoliaceae																
Liliaceae																
Papaveraceae																
Scrophulariaceae																
Apiaceae																
Gentianaceae																
Vitaceae																
Convolvulaceae																
Lamiaceae																
Onagraceae																
Polygonaceae																
Salicaceae																
Euphorbiaceae																
Geraniaceae																
Sapindaceae																
Tamaricaceae																
Balsaminaceae																
Cornaceae																
Ericaceae																
Myrtaceae																
Oleaceae																
Pinaceae																
Resedaceae																
Urticaceae																
Anacardiaceae																
Aquifoliaceae																
Campanulaceae																
Caryophyllaceae																
Alismataceae																
Cucurbitaceae																
Menyanthaceae																
Plumbaginaceae																
Amaranthaceae																
Arecaceae																
Cyperaceae																
Linaceae																
Lythraceae																
Magnoliaceae																
Malvaceae																
Nymphaeaceae																
Platanaceae																

Figure 4 shows the similarity between the pollen species data of the sixteen foraging areas. In contrast to the dendrogram achieved using the land-cover data, no apiary groups were identified.

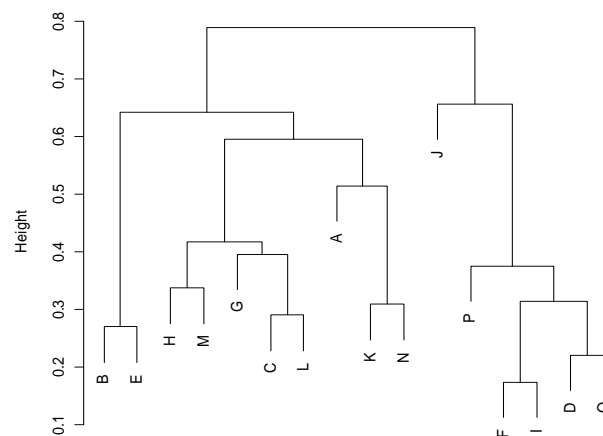


Figure 4. Dendrogram built from a similarity index (Bray-Curtis) of pollen species data of the sixteen foraging areas.

Pollen and landscape

The landscape richness and the pollen richness were different among the apiaries or within the same apiary. In general, the foraging areas with a low landscape richness presented a high pollen richness and *vice versa*. The landscape richness of foraging area K was equal to 5, which corresponded to the lowest landscape richness, though the pollen richness was equal to 31, which corresponded to the highest pollen richness. In contrast, the landscape richness of foraging area G was 11, and the pollen richness was 14. The foraging areas with an important urban area typically exhibited high pollen richness. Low pollen richness was observed for apiaries located in the landscapes with important grassland or crop areas.

The Spearman test based on the entire landscape and palynological diversity data (Shannon indices) did not highlight a correlation between the landscape diversity and the pollen diversity ($p>0.05$; $r=-0.094$). This result was illustrated by the foraging areas of apiaries K and N, which were characterized by a low landscape diversity and high pollen diversity. However, apiary G presented high landscape and pollen diversities, as opposed to apiary M, which was characterized by low landscape and pollen diversities.

The similarity indices were compared by a Mantel test (5000 randomizations). However, no correlation was demonstrated between the landscape data and pollen data ($p>0.05$; $r=0.1303$).

CCA provided an overview of the land-cover data and the families identified in the pollen pellets and described the proximity between the variables and apiaries. The first factorial plane is displayed in *Figure 5*.

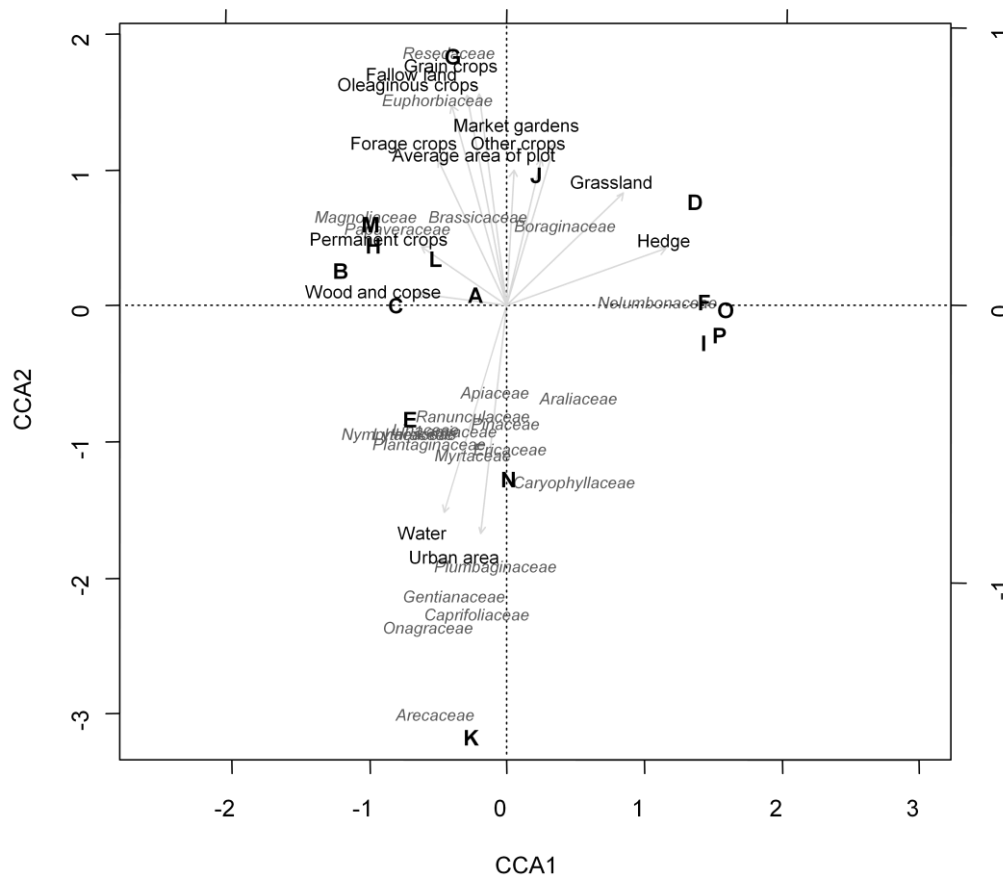


Figure 5. Projections of the variables (landscape and pollen data) and the apiaries on the first factorial plane of CCA (the species variables placed near the center of plot were removed for better readability).

The first CCA axis (CCA1, *Figure 5*) accounted for 31.16% of the total inertia and revealed an opposition between the combination of the variables hedge, grassland and Boraginaceae and Nelumbonaceae and the combination of the variables permanent crops, oleaginous crops, grain crops, forage crops, fallow land and Magnoliaceae, Papaveraceae, and Brassicaceae. On the second axis, we have on one side the foraging areas D, F, O, P, and I (characterized by grassland, hedge, and their associated families) and on the other side the apiaries B, H, M, C, L, A, J, and G (characterized by crops and the associated families).

The second CCA axis (CCA2, *Figure 5*) accounted for 20.23% of the total inertia and revealed a combination of variables, including urban area, water, and Arecaceae, Onagraceae, Caprifoliaceae, Gentianaceae, and Plumbaginaceae. Additionally, on this axis in *Figure 5*, an

opposition between apiaries K, N, and E, characterized by urban area and their associated families, and the other apiaries is observed.

Many species (not represented on the graph) were not discriminative, such as Rosaceae, Asteraceae, Fagaceae, Poaceae, and Fabaceae.

Discussion

The different foraging areas were not classifiable into obvious landscape categories. The analysis revealed gradients of hedgerow density and variable proportion of grassland and crop areas. This result was because the apiaries were located in the same geographic region (western France), with a plain topography and comparable agricultural management, as characterized by a hedgerow landscape with mixed farming, in which pasture and permanent crops are present at different levels for each site (Burel and Baudry, 1990).

The land-cover data and similarity index (Bray-Curtis index) distinguished three groups of landscape contexts. The K, N, E, P, and C apiaries were characterized by an important urban area and a low crop area and were considered to be urban landscape. The other foraging areas were characterized by rural areas.

Our results demonstrated two groups of foraging apiaries within the rural landscape context according to the gradient of hedgerow networks and to the gradient of grassland and crop areas. Apiaries A, F, I, M, and O were defined by 1) a high length of hedges between 59 and 87 m/ha and 2) numerous grassland plots comprising between 49% and 58% of the grassland and annual crop areas (32% and 46% of the foraging areas), respectively. The landscape context for these apiaries would be close to a hedgerow landscape as defined by Michel *et al.* (2007) for western France. A second group including apiaries B, G, J, and L consisted of 1) a low hedgerow network between 17 and 35 m/ha and 2) large plots of crops, with an overall area comprising between 62% and 80% of the grassland and annual crop areas (45% and 56% of the foraging areas), respectively. This group was characteristic of a cultivated landscape (Michel *et al.*, 2007). Two apiaries (D and H) displayed intermediate values with important hedge lengths and crop plots, and exhibited difficulty with regard to classification within the landscape context of the foraging area.

Landscape and flower diversity

The land-cover data analyses indicated that the landscape richness was highest for the foraging areas of apiaries B, G, and J and was lowest for the K, M, N, and P sites. The palynological analyses demonstrated that the pollen richness was more important for apiaries

K and C, whereas apiaries F and M displayed the lowest values. However, important landscape richness was not necessarily correlated with important pollen family richness and *vice versa*, as observed for apiaries K and G. The foraging areas with important urban areas were sites that were characterized by a low landscape richness and a high pollen richness, which was linked to the flower diversity in the urban areas comprising many ornamental, cultivated and wild species (Dana *et al.*, 2002; Acar *et al.*, 2007; Hennig and Ghazoul, 2012). Accordingly, the pollen richness appeared less important for the apiaries surrounded by large crop and grassland areas. This finding might be explained by 1) the presence of species or varieties of the same species providing less attractive pollen (Louveaux, 1959; Pierre *et al.*, 1999) and 2) chemical or mechanical management of the areas, reducing flower diversity and availability (Louveaux, 1959; Freemark and Boutin, 1995; De Snoo and van der Poll, 1999; Schippers and Joenje, 2002). In fact, Freemark and Boutin (1995) demonstrated that use of herbicides decreases the presence of self-propagating plants that could be attractive to honey bees (Louveaux, 1959). Intensive grazing, cutting prior to the flowering period, and fertilizer application have similar a negative impacts on flower richness (Schippers and Joenje, 2002).

Richness was associated with the different land-cover categories present in foraging areas and the different families of plant identified in the pollen. In addition to qualitative data, the diversity index takes into account quantity of the different variables. Additionally, apiary C, which showed high pollen richness, had low pollen diversity. Conversely, apiary G had low pollen richness and high pollen diversity. Overall, the diversity was more noteworthy than the quality and quantity of data combined. There was no correlation between landscape diversity and pollen diversity, a result that can be illustrated by the foraging areas of apiaries K and N, which were characterized by low landscape diversity and high pollen diversity. However, apiary G presented high landscape and pollen diversities, different from apiary M, which was characterized by low landscape and pollen diversities. These results can be explained by the same reasons cited above.

The palynological analyses showed that the flower richness is greater in apiaries of urban landscapes than in apiaries of rural landscapes. Nevertheless, the diversity of pollen gathered by honey bees does not reflect the diversity of the landscape, which, in turn, depends on the landscape context (composition and structure) and management of the environment.

Landscape and typical flora

The similarity indices between the apiaries considering land-cover data were different from the similarity indices between the apiaries considering pollen data. Indeed the comparison of

these similarity indices (the Mantel test) showed an absence of correlation. Thus, the apiary clusters built using palynological data were different from the apiary clusters built using land-cover data.

CCA permitted an overview of the land-cover and pollen data and a description of the proximity between the variables and apiaries. As was the case for the richness data, we observed an opposite trend between the urban landscape and rural landscape. The plant families associated with the pollen collected from urban areas were Arecaceae, Onagraceae, and Caprifoliaceae, and were mainly ornamental species present in parks and gardens. Although in low quantity, many ornamental species were present in parks and gardens, which partially explains the high flower richness but not necessarily the high flower diversity in the urban landscape. The foraging areas K, N and E, classified as urban landscapes, were characterized by these variables.

In the rural landscape, the apiaries were characterized by crops and three plant families: Magnoliaceae, an ornamental species well represented in this region, Papaveraceae, self-propagating plants mainly found in crops, and Brassicaceae, species widely cultivated in France.

Many wild, cultivated, and ornamental species were not found to be discriminating with regard to the landscape context, including Rosaceae, Asteraceae, and Fabaceae. These families are known for their high attractiveness to pollinators (Louveaux, 1958) and constituted the majority of the pollen identified. This concept of a main pollen source was introduced early in the study of palynology and is linked to the fact that honey bees select plants for the specific nutritional properties of their pollen (Louveaux, 1958; Hügel, 1962). This nutritional aspect most likely explains why pollen from the same families (main pollen), such as Asteraceae, Fabaceae, and Rosaceae, were reported to be selected and returned to hives in many countries, including France, the United States, and Brazil (Louveaux, 1959; Almeida-Muradian *et al.*, 2005; Tuell *et al.*, 2008; Boff *et al.*, 2011).

In the rural landscapes, the pollen gathered by the honey bees was a not typical for many potential reasons: 1) the foraging areas were not homogeneous and included a mixture of grasslands, crops, market gardens, and urban areas (Burel and Baudry, 1990); 2) the pollen was sampled four times during the year and reflected a single time point, which may explain the omission of some families; 3) the palynological analyses were performed at the taxonomic level of the family and not at the species level; and 4) selective honey bee foraging is linked to pollen quality (Louveaux, 1958; Hügel, 1962; Blütghen and Klein, 2011).

Finally, Louveaux (1959) found a good correlation between land-cover, plant and pollen and considered honey bees as good investigative agent for botanical geography. However, this

correlation was far from evident based on the analysis developed in the present study, as the results failed to relate a typical flora (notably flowers visited by honey bees) to a landscape context. Some explanations might include the following features: 1) our sampling method at a single time point did not reflect the dynamic pool of pollen and the complete botanical diversity over a full apicultural season; 2) our study concerned one geographical region with weakly differentiated landscapes compared to the Louveaux study performed over the entire country; and 3) many modifications in landscape structure, composition and management have occurred since the 1950s. However, our results did distinguish an urban landscape from a rural landscape based on the pollen gathered by honey bees and the dominance of ornamental species in the pollen gathered by the honey bees guides the characterization of the landscape as an urban landscape. Regardless, the scarcity or absence of ornamental species does not necessarily mean that the apiary is not located in an urban area.

Conclusion

Based on our results, it is concluded that the diversity of collected pollen is a poor indicator to employ for landscape qualification: a high landscape diversity does not necessarily entail a wider variability in the pollen gathered by honey bees. As a rule, the colonies were found to gather pollen that was not typical of the landscape defined for the apiary. The dominance of pollen from ornamental flowers may, however, have resulted in the characterization of a landscape as an urban landscape. In contrast, rural landscapes could not be discriminated by the pollen collected because honey bees presumably select pollen and favor flowers of nutritional interest. Therefore we suggest that although there is a dependency on the apiary environment and landscape context, the diversity of collected pollen is significantly influenced by additional factors, such as site management and selective foraging.

Acknowledgements. We thank all the beekeepers for their hospitality and their help with the protocol. Many thanks are extended to the regional delegation of the Ministry of Agriculture, in particular, Virginie Perin, for providing some of land-cover data.

We are grateful to Isabelle Guilberteau, Bénédicte Pouleur and Jean-Michel Allard from ONIRIS for the field sampling. We thank Romain Caseteuble for his work on these analyses. We also wish to thank all the sponsors. This study was supported by the European Union through European Agricultural Guidance Guarantee Fund projects, Nantes Métropole, le Conseil Général de Loire Atlantique, la Région des Pays de la Loire, and Pullman hotels by Bee my Friend.

REFERENCES

- [1] Acar, C., Acar, H., Eroğlu, E. (2007): Evaluation of ornamental plant resources to urban biodiversity and cultural changing: a case study of residential landscapes in Trabzon city (Turkey). - *Building and Environment* 42: 218-229.

- [2] Agger, P., Brandt, J. (1988): Dynamics of small biotopes in Danish agricultural landscapes. - *Landscapes Ecology* 1: 227-240.
- [3] Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D., Le Conte, Y. (2010): Diet effects on honey bee immunocompetence. - *Biology Letters* 6: 562-565.
- [4] Almeida-Muradian, L.B., Pamplona, L.C., Coimbra, S., Barth, O.M. (2005): Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. - *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 105-111.
- [5] Balayiannis, G., Balayiannis P. (2008): Bee honey as an environmental bioindicator of pesticides' occurrence in six agricultural areas of Greece. - *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55: 462-470.
- [6] Beekman, M., Ratnieks, F.L.W. (2000): Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L.. - *Functional Ecology* 14: 490-496.
- [7] Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D. (2003): Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? - *Trends in Ecology and Evolution* 18: 182-188.
- [8] Blüthgen, N., Klein, A.M. (2011): Functionnal complementarity and specialization: the role of biodiversity in plant-pollinator interactions. - *Basic and applied ecology* 12: 282-291.
- [9] Boff, S., Luz, C.F.P., Araujo, A.C., Pott, A. (2011): Pollen Analysis Reveals Plants Foraged by Africanized Honey bees in the Southern Pantanal, Brazil. - *Neotropical Entomology* 40: 47-54.
- [10] Burel, F., Baudry, J., (1990): Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. - *Landscape Ecology* 4: 197-210.
- [11] Burel, F., Baudry, J. (1999): Des paysages passés aux paysages anthropisés actuels. - In: Lavoisier (Editions Tec & Doc) *Ecologie du paysage Concepts, méthodes et applications*, Paris.
- [12] Carvell, C., Meek, W.R., Pywell, R.F., Goulson, D., Nowakowski, M. (2007): Comparing the efficacy of agri-environment schemes to enhance bumble bee abundance and diversity on arable field margins. - *Journal of Applied Ecology* 44: 29-40.
- [13] Crailsheim, K., Schneider, L.H.W., Hrassnigg, N., Bühlmann, G., Brosch, U., Gmeinbauer, R., Schöffmann, B. (1992): Pollen consumption and utilization in worker honey bees (*Apis mellifera Carnica*): dependence on individual age and function. - *Journal of Insect Physiology* 38: 409-419.
- [14] Dana, E.D., Vivas, S., Mota, J.F. (2002): Urban vegetation of Almería City-a contribution to urban ecology in Spain. - *Landscape and Urban Planning* 59: 203-216.
- [15] De Snoo, G.R., van der Poll, R.J. (1999): Effect of herbicide drift on adjacent boundary vegetation. - *Agriculture, Ecosystem and Environment* 73: 1-6.
- [16] Freemark, K., Boutin, C. (1995): Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: a review with special reference to North America. - *Agriculture Ecosystem and Environment* 52: 67-91.

- [17] Gonzalez, I., Déjean, S., Martin, P.G.P., Baccini, A. (2008): CCA: an R package to extend canonical correlation analysis. - Journal of Statistical Software 23: 1-14.
- [18] Hadley, A.S., Betts, M.G. (2012): The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. - Biological reviews 87: 526-544.
- [19] Hannon, L.E., Sisk, T.D. (2009): Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees. - Biological Conservation 142: 2140-2154.
- [20] Hennig, E.I., Ghazoul, J. (2012): Pollinating animals in the urban environment. - Urban ecosystem 15: 149-166.
- [21] Hobbs, N.T., Galvin, K.A., Stokes, C.J., Lockett, J.M., Ash, A.J., Boone, R.B., Reid, R.S., Thornton, P.K. (2008): Fragmentation of rangelands: Implications for humans, animals, and landscapes. - Global Environmental Change 18: 776-785.
- [22] Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. and Tscharntke, T. (2007): Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. - Journal of Applied Ecology 44: 41-49.
- [23] Hügel, M.F. (1962): Etudes de quelques constituants du pollen. In: Annales de l'abeille.
- [24] Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M. (1999): The second silent spring. - Nature 400: 611-612.
- [25] Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., Pouliquen, H. (2012): Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. - Environmental pollution 170: 254-259.
- [26] Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., Burel, F. (2010): Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. - Agriculture, Ecosystems and Environment 137: 143-150.
- [27] Loibl, W., Toetzer, T. (2002): Modeling growth and densification processes in suburban Regions - simulation of landscape transition with spatial agents. - Environmental Modelling & Software 18: 553-563.
- [28] Louveaux, J. (1958): Plantes utilisées par les abeilles. In: Annales de l'Abeille, Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifica* L.).
- [29] Louveaux, J. (1959): Recherches sur l'origine des variations qualitatives. In: Annale de l'Abeille, Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifica* L.).
- [30] Macdonald, D.W., Johnson, P.J. (2000): Farmers and the custody of the countryside: trends in loss and conservation of non-productive habitats 1981- 1998. - Biological Conservation 94: 221-234.
- [31] McLaughlin, A., Mineau, P. (1995): The impact of agricultural practices on biodiversity. - Agriculture Ecosystem and Environment 55: 201-212.

- [32] Michel, N., Burel, F., Legendre, P., Butet, A. (2007): Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France. - *Landscape Ecology* 22: 1241-1253.
- [33] Monteiro, A.T., Fava, F., Hiltbrunner, E., Della Marianna, G., Bocchi, S. (2011): Assessment of land cover changes and spatial drivers behind loss of permanent meadows in the lowlands of Italian Alps. - *Landscape and Urban Planning* 100: 287-294.
- [34] Perugini, M., Di Serafino, G., Giacomelli, A., Medrzyck, P., Sabatini, A.G., Persano Oddo, L., Marinelli, E., Amorena, M. (2009): Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in bees (*Apis mellifera*) and honey in urban areas and wildlife reserves. - *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 57: 7440-7444.
- [35] Pierre, J., Mesquida, J., Marilleau, R., Pham-Délègue, M.H., Renard, M. (1999): Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus* – quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. - *Plant Breeding* 118: 471-476.
- [36] Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E. (2010): Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. - *Trends in ecology and evolution* 25: 345-353.
- [37] Robinson, R.A., Sutherland, W.J. (2002): Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. - *Journal of Applied Ecology* 39: 157-176.
- [38] Schippers, P., Joenje, W. (2002): Modelling the effect of fertiliser, mowing, disturbance and width on the biodiversity of plant communities of field boundaries. - *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 351-365.
- [39] Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., Tschardtke, T. (2002): Scale-dependent effects of landscape structure on the three pollinators guilds. – *Ecology* 83: 1421-1432.
- [40] Steffan-Dewenter, I., Kuhn, A. (2003): Honey bee foraging in differentially structured landscapes. - *Proceedings of the Royal Society B*. 270: 569-575.
- [41] Ter Braak, C.J.F., Verdonschot, P.F.M. (1995): Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. - *Aquatic Sciences* 57: 255-289.
- [42] Tuell, J.K., Fiedler, A.K., Landis, D., Isaacs, R. (2008): Visitation by Wild and Managed Bees (Hymenoptera: *Apoidea*) to Eastern U.S. Native Plants for Use in Conservation Programs. - *Environmental Entomology* 37: 707-718.
- [43] Visscher, P.K., Crailsheim, K., Sherman, G. (1996): How do honey bees (*Apis mellifera*) fuel their water foraging flights? - *Journal Insect Physiology* 42: 1089-1094.
- [44] Von der Ohe, W., Persano Oddo, L., Piana, M.L., Morlot, M., Martin, P. (2004): Harmonized methods of melissopalynology. – *Apidologie* 35: S18-S25.
- [45] *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.)*

Appendix A. Detailed description of the variables used in the study (* Declarative data for 2008 of the agricultural parcel identification system of Council Regulation (EC) N° 1593/2000 of 17 July 2000).

Variables	Description	Sources	Units
Grassland	natural meadows, temporary meadows	*(PN, PT, PX)	ha
Fallow land	fallow land	*(GE, GB, GI, GV)	ha
Forage crops	forage, broad bean, pea	*(DH, FA, FE, GL, LP, PH, PP, SM)	ha
Grain crops	oat, wheat, maize, barley, rye	*(AC, AV, BA, BB, BD, BH, BP, BT, MA, MD, ME, MS, OH, OP, SE, SH, TR)	ha
Oleaginous crops	colza, flax, sunflower	*(AO, CH, LN, LU, TO)	ha
Permanent crops	vineyard, orchard	*(VE, VI)	ha
Market gardens	fruit, vegetable, aromatic plant	*(FP, LC, PE, PF, PM, PO)	ha
Other crops	buckwheat, hemp, tobacco	*(AT, CU, CV, CW, SR, TA)	ha
Wood and copse		Corine Land Cover 2006 (31.1/31.2/31.3) Digitized on BD ORTHO ® IGN (2004)	ha
Urban area	urban infrastructure, airport	Corine Land Cover 2006 (11.1/11.2/12.1/12.2/12.3/12.4)	ha
Water		Corine Land Cover 2006 (51.1/51.2)	ha
Others	other utilization declared, no agricultural use, area not determined	*(AU, HC, UN)	ha
Hedge		Digitized on BD ORTHO ® IGN (2004)	m/ha
Average plot size		Field survey among farmers in the foraging area	ha

I.4. Etude « Abeille mellifère (*Apis mellifera*), témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager des Pays de la Loire » (étude 1) : bilan et perspectives

Cette étude de cohorte de ruchers en régions Pays de la Loire et Bretagne nous a permis de mettre en évidence 1/ une utilisation importante de pesticides, 2/ une exposition des abeilles à ces polluants et 3/ une contamination des abeilles et des matrices associées (Lambert, 2012 ; Lambert *et al.*, 2012a ; Lambert *et al.*, 2012b ; Lambert *et al.*, 2013). Un portage asymptomatique de différents agents infectieux par l'ensemble des colonies étudiées a également été observé (Mouret *et al.*, 2013). Enfin, les analyses palynologiques des pelotes de pollen et des miels nous ont renseignés sur les ressources polliniques et mellifères exploitées par les abeilles en régions des Pays de la Loire et de Bretagne et ont mis en relief des différences à l'échelle du paysage ou de la période de l'année.

Néanmoins, étant donné le rythme de prélèvement sur la saison apicole, l'ensemble des résultats sont ponctuels et donnent une image partielle de l'exposition aux polluants, de même qu'ils font un état des lieux partiel des ressources exploitées par l'abeille au cours de la saison apicole.

Ce constat nous a donc conduit à mettre en place une étude plus précise sur deux ruchers⁸ parmi les dix-huit premiers, avec un échantillonnage à la colonie pour l'ensemble des suivis (écotoxicologiques, écopathologiques et palynologiques), afin de mettre en évidence des cinétiques de contaminations chimiques et biologiques et d'identifier les ressources pollinifères et mellifères des colonies étudiées sur l'ensemble de la saison apicole :

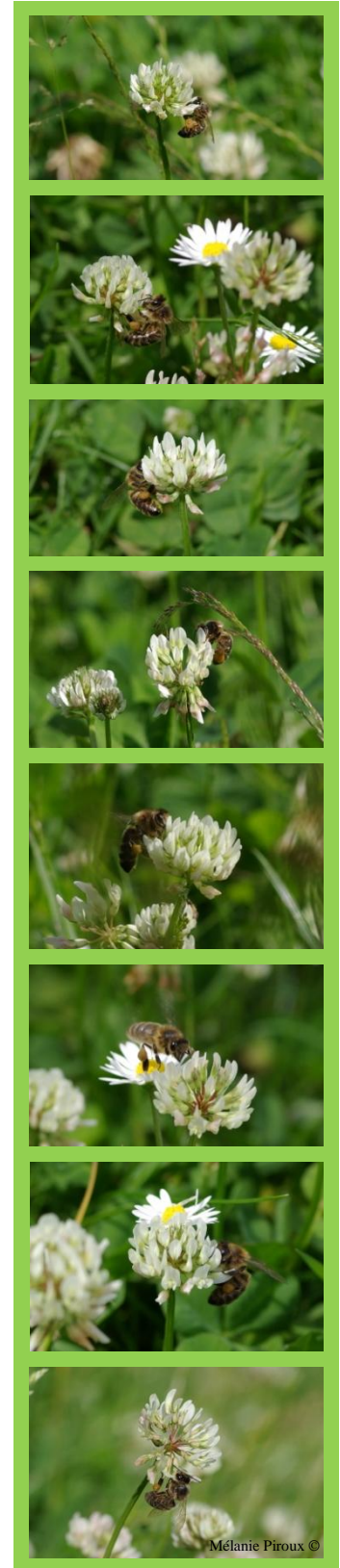
- Un suivi écotoxicologique, avec pour objectif d'étudier la contamination des abeilles du corps de ruche (d'âge et de fonctions différentes) par des produits phytosanitaires et vétérinaires ;
- Un suivi écopathologique, consistant en une évaluation de la contamination des abeilles par des agents infectieux (cinétique des charges infectieuses). Six colonies « sœurs » restées sur l'île d'Ouessant étaient également intégrées à ce suivi. Un suivi de la chute de *Varroa destructor* sur le plancher de chaque ruche a également été réalisé ;
- Un suivi palynologique, visant à déterminer les sources de nourriture et les stratégies de butinage (nectar et pollen) de chaque colonie par 1/ une analyse palynologique qualitative et quantitative des pelotes de pollen et du nectar rapportés à la ruche et 2/ une analyse paysagère spatio-temporelle de l'aire de butinage des abeilles. L'objectif est de connaître les ressources exploitées préférentiellement par l'abeille par rapport aux ressources disponibles en fonction de l'environnement, de la phénologie des espèces et du caractère pollinifère et/ou nectarifère des plantes, et d'en expliquer les éventuelles différences.

Pour des raisons financières, l'ensemble des prélèvements ont été effectués, mais les échantillons relatifs aux suivis écotoxicologique et écopathologique n'ont pas été traités et ces deux volets du projet global n'ont pas pu être poursuivis dans le cadre de cette thèse. Seule l'étude du suivi palynologique, a pu être menée jusqu'à son terme à ce jour.

⁸ Le choix de ces deux ruchers est lié au contexte paysager de grande culture, à la disponibilité et au volontariat des apiculteurs et aux « bonnes pratiques » apicoles des apiculteurs.

II. Matériels et méthodes

Etude des ressources pollinifères et mellifères de deux ruchers en Pays de la Loire (étude 2)



II.1. Ruchers

Les **deux ruchers** sélectionnés font partie de la série précédemment étudiée. Un se situe à Andard (+ 47° 30' 0.46'' / - 0° 25' 7.46'') dans le Maine-et-Loire (49), et l'autre à Vendrennes (+ 46° 48' 9.86'' / - 1° 6' 26.29'') en Vendée (85) (**Figure 18**). Précédemment identifiés par les lettres B (rucher d'Andard) et L (rucher de Vendrennes) (étude 1), dans cette partie de notre étude ils seront annotés ML pour le rucher d'Andard-Maine-et-Loire et V pour le rucher de Vendrennes-Vendée.

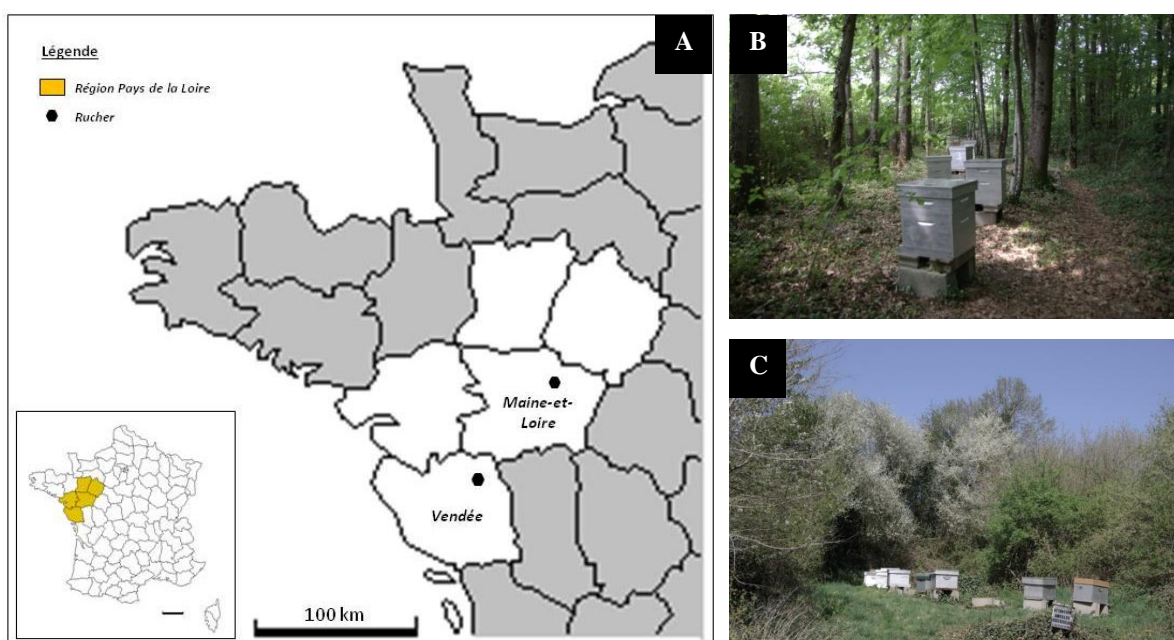


Figure 18. Ruchers étudiés en Pays de la Loire, A = Localisation des deux ruchers, B = Rucher ML du Maine-et-Loire, C = Rucher V de Vendée (photographies : Mélanie Piroux).

Chaque rucher est constitué de douze colonies d'Abeille domestique, dont six colonies de race géographique hybridée (*Apis mellifera* sp.) déjà présentes lors de la précédente étude (étude 1), que nous appellerons « **colonies locales** », et six colonies introduites (*Apis mellifera mellifera*) en provenance de l'île d'Ouessant (Finistère), que nous appellerons « **colonies d'Ouessant** », et qui ont été installées et dédiées à cette étude le 18 avril 2011 (**Figure 19**). Les deux lots de colonies installées dans les ruchers continentaux sont des « colonies sœurs » produites spécialement pour ce projet.

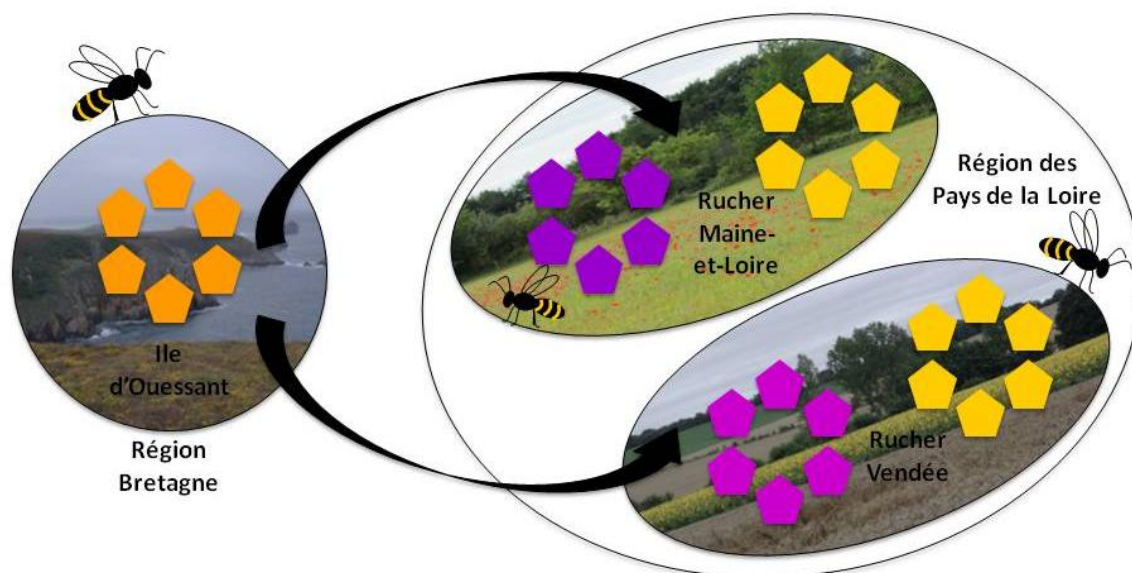


Figure 19. Schéma du protocole de l'étude (photographies : Mélanie Piroux).

L'identification des colonies étudiées est la suivante :

- Rucher du Maine-et-Loire : les six colonies locales sont identifiées en tant que ML1, ML2, ML3, ML4, ML5, ML6, et les six colonies d'Ouessant en tant que MLO1, MLO2, MLO3, MLO4, MLO5, MLO6 ;
- Rucher de Vendée : les six colonies locales sont identifiées V1, V2, V3, V4, V5, V6 et les six colonies d'Ouessant VO1, VO2, VO3, VO4, VO5, VO6.

II.2. Analyse paysagère fine : occupation du sol et inventaires botaniques

L'étude préalable (Piroux *et al.*, 2014a) nous avait permis de faire une analyse paysagère et de caractériser le paysage des deux ruchers d'intérêt. L'aire de butinage de ces deux ruchers (alors fixée à 3 km de rayon autour du rucher) avait été identifiée comme deux paysages de grande culture (Cf. I.1.).

Dans le cadre de l'étude du suivi palynologique des deux ruchers ML et V, les prospections de terrain ont été réalisées sur un rayon de 1 500 m autour de chaque rucher soit 707 ha. La littérature suggère que la distance moyenne de butinage est d'environ 1 500 m (Villanueva-Gutierrez, 2002 ; Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003) avec une variabilité liée au type de ressources butinées (nectar, pollen, eau, gomme végétale), à la saison et à la localisation des ressources (Visscher *et al.*, 1996 ; Beekman & Ratnieks, 2000). L'analyse paysagère consiste

dans un premier temps à faire une analyse globale de la composition et de la structure du paysage en recensant les différents types de milieux ainsi que l'ensemble des linéaires. Dans un deuxième temps, il s'agit d'affiner ces données d'occupation du sol en faisant des inventaires botaniques au sein d'entités homogènes du paysage.

L'**analyse globale du paysage** a débuté en amont de l'étude afin de 1/ délimiter les parcelles, 2/ inventorier et localiser les haies et 3/ commencer une première caractérisation des surfaces « fixes » telles que les zones boisées, les cultures permanentes (vergers), les surfaces urbanisées ou encore les surfaces en eau. Cette caractérisation, qui s'est faite sur le terrain à l'aide d'un support cartographique créé sur la base d'orthophotographies extraites de la BD Ortho[®] de l'IGN (**Figure 20**), a débuté en mars 2011 et s'est poursuivie tous les 15 jours du 18 avril 2011 jusqu'à la fin du mois de septembre de la même année. Du mois d'octobre 2011 au mois de mars 2012 ainsi qu'en octobre 2012, les inventaires de terrain ont été réalisés une fois par mois. D'avril 2012 à septembre 2012, ils ont été réalisés tous les 15 jours (**Figure 21**).



Figure 20. Supports cartographiques pour la caractérisation de l'occupation du sol et la réalisation des inventaires botaniques sur le rucher du Maine-et-Loire (ML) à gauche et le rucher de Vendée (V) à droite (sources : BD Ortho[®] IGN 2008 (49) et 2010 (85)).

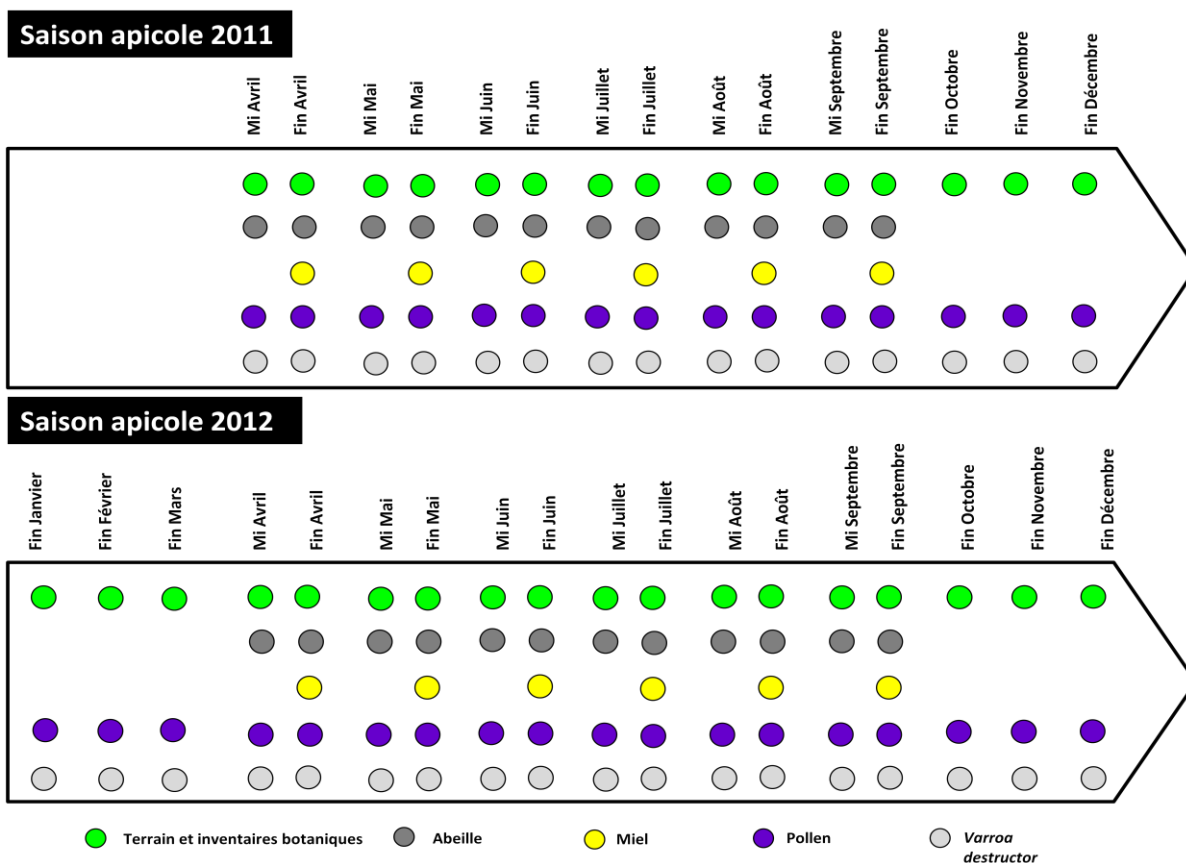


Figure 21. Planning synthétique des suivis et prélèvements réalisés en 2011 et 2012 au sein des deux ruchers étudiés.

Les **inventaires botaniques** ont commencé le 18 avril 2011 et ont été réalisés selon les mêmes fréquences que celles de l'analyse paysagère (Figure 21). L'ensemble des entités, surfaciques (parcelles agricoles, aires boisées, aires urbaines, surfaces en eau) ou linéaires (haies, bords de route, fossés), ont été enregistrées par un identifiant unique. L'inventaire est réalisé sur une surface homogène qui varie en fonction du milieu et qui doit être suffisante pour contenir la quasi-totalité des espèces présentes sur l'entité (aire minimale) (Guinochet, 1973). Dans la théorie cette aire minimale est définie à l'aide de la « courbe aire-espèce » (Moravec, 1973), mais dans la pratique, cette aire minimale est de l'ordre de 100 à 400 m² pour les groupements forestiers, de 50 à 100 m² pour les formations buissonnantes, de 20 à 50 m² pour les groupements de prairies et de pelouses et quelques mètres carrés seulement pour les formations les plus denses et homogènes. Pour chaque inventaire botanique, différentes informations ont été notées (Tableau 11) :

- Le(s) observateur(s)
- Le site : aire de butinage du rucher
- Date de l'inventaire

- Numéro de relevé correspondant à l'identifiant de l'entité inventoriée
- L'habitat : culture, prairie, surfaces boisées (bois, boqueteau, bosquet suivant la nomenclature de l'Inventaire Forestier National (IFN)⁹), surface urbanisée, bord de route, fossé, friche ou autres
- Le recouvrement de l'aire minimale inventoriée
- La composition floristique avec les différentes espèces identifiées et pour chaque espèce les informations suivantes : le type biologique (selon le système de Raunkiær, 1904 - Annexe 1)¹⁰, la famille et l'espèce identifiée ainsi que son coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet correspondant à une classe de recouvrement (Braun-Blanquet *et al.*, 1952) (Tableau 12) et la phénologie de cette plante¹¹.

⁹ Suivant la nomenclature de l'IFN on distingue le bois qui a une surface supérieur à 4 ha, le boqueteau dont la surface est comprise entre 0,5 et 4 ha et le bosquet avec une surface comprise entre 0,05 ha et 0,5 ha.

¹⁰ Type biologique selon Raunkiær : phanérophytes, chamaephytes (frutescents, herbacés), hémicryptophytes, géophytes, hydrophytes, hélrophytes, thérophytes.

¹¹ Phénologie : veg = stade végétatif / bt = boutons floraux / fl = pleine floraison / dfl = défloraison / fr = fructification.

Tableau 11 . Exemple d’inventaire botanique (* indice d’abondance-dominance Braun-Blanquet ; les espèces entre crochets sont des espèces identifiées hors du quadrat qui correspond à l’aire minimale inventoriée sur cette parcelle).

INVENTAIRE FLORISTIQUE				
Observateur :	M. PIROUX P. FERARD		Site :	Vendrennes
Date :	12/05/2011		N° Relevé :	171L
QUADRAT	100 m²			
RECOUVREMENT	100 %			
HABITAT	Prairie mésophile			
Strate	Famille	Espèce	AD*	Phénologie
Hémicryptophyte	Ranunculaceae	<i>Ranunculus acris</i>	2	fl
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>Hypochaeris radicata</i>	1	fl
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>Bellis perennis</i>	Plus	fl
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i>	r	gr
Chamaephyte herb.	Caryophyllaceae	<i>Cerastium fontanum</i>	Plus	fl
Hémicryptophyte	Ranunculaceae	<i>Ranunculus bulbosus</i>	Plus	dfl
Hémicryptophyte	Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	3	—
Thérophyte	Poaceae	<i>Bromus hordeaceus</i>	Plus	—
Hémicryptophyte	Poaceae	<i>Poa trivialis</i>	1	—
Hémicryptophyte	Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	1	—
Hémicryptophyte	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i>	1	—
Hémicryptophyte	Fabaceae	<i>Trifolium pratense</i>	1	fl
Thérophyte	Poaceae	<i>Vulpia</i> sp.	Plus - r	—
Hémicryptophyte	Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>	r	—
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>Leucanthemum vulgare</i>	Plus	fl
Thérophyte	Boraginaceae	<i>Myosotis discolor</i>	r	fl
Thérophyte	Fabaceae	<i>Trifolium dubium</i>	r	fl
Hémicryptophyte	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>	r	veg
Hémicryptophyte	Apiaceae	<i>[Oenanthe silaifolia]</i>	r	—
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>[Scorzonera humilis]</i>	r	fl
Hémicryptophyte	Asteraceae	<i>[Cirsium arvense]</i>	r	—

Pour connaître la surface recouverte par chaque espèce au sein de l’aire de butinage, les indices d’abondance-dominance Braun-Blanquet ont été transformés en recouvrement moyen, comme ont pu l’établir Baudière et Serve (1975) et De Foucault (1980) (Tableau 12).

Tableau 12. Coefficient d'abondance-dominance de Braun-Blanquet, classe de recouvrement et recouvrement moyen correspondant à chaque indice.

Coefficient d'abondance-dominance Braun-Blanquet	Classe de recouvrement (%)	Recouvrement moyen (%)
5	75-100	87,5
4	50-75	62,5
3	25-50	37,5
2	5-25	15
1	1-5	2,5
+	<1	0,5
r (rare)	(Quelques rares individus)	–
i (individu)	(Un individu)	–

Les relevés d'occupation du sol et les inventaires botaniques ont été comparés et compilés à la fin de chaque saison apicole pour chaque aire de butinage et cela pour chaque année d'étude.

Le coefficient de recouvrement moyen nous a permis de calculer les surfaces occupées par chaque espèce au sein des différentes entités de l'aire de butinage. Une fois additionnées, nous avons obtenu la surface occupée par chaque espèce au sein de cette aire de butinage. Ce calcul a été effectué pour les entités surfaciques, mais également pour les entités linéaires pour lesquelles nous avons la longueur et avons fait le choix d'attribuer une largeur de 1 m (car elle est représentative des largeurs identifiées sur le terrain et elle a facilité les analyses).

II.3. Echantillonnage des pelotes de pollen

Les prélèvements ont été réalisés sur dix colonies de chaque rucher, dont cinq colonies locales et cinq colonies d'Ouessant. Le choix des colonies pour ce suivi des ressources pollinifères a été fait de façon aléatoire. Les colonies sélectionnées sont les suivantes :

- Rucher ML du Maine-et-Loire : colonies locales ML2, ML3, ML4, ML5, ML6 et colonies d'Ouessant MLO1, MLO2, MLO4, MLO5, MLO6 ;
- Rucher V de Vendée : colonies locales V1, V2, V3, V5, V6 et colonies d'Ouessant VO1, VO2, VO4, VO5, VO6.

L'échantillonnage a débuté le 18 avril 2011, date d'installation des colonies d'Ouessant dans les ruchers étudiés, et a été réalisé avec une fréquence différente selon les périodes de l'année. Pour les périodes du 18 avril 2011 à la fin du mois de juin 2011 et du début du mois d'avril 2012 jusqu'à la fin du mois de juin 2012, les prélèvements ont été réalisés tous les 3 jours pour chacune des colonies. Pour les périodes de début juillet jusqu'à la fin du mois de

septembre 2011 et 2012, ils l'ont été toutes les semaines. Pour les mois d'octobre 2011 à mars 2012, ainsi que le mois d'octobre 2012, ils l'ont été une fois par mois.

II.3.1. Méthodologie utilisée

Dans cette étude comparée des deux ruchers ML et V, les pelotes de pollen ont été prélevées sur le plancher de la ruche. Chaque ruche a été équipée d'un plancher grillagé sur la totalité de sa surface, et qui a été placé au dessus d'un plancher plein sur lequel reposait un papier kraft (Figure 22). Lors du retour des butineuses et du stockage des pelotes de pollen dans la ruche, quelques pelotes tombent de façon accidentelle et se retrouvent sur le plancher plein de la ruche.



Figure 22. Retrait du papier kraft présent sur le plancher plein (à gauche, photographie : Monique L'Hostis) et contenu du papier kraft (à droite, photographie : Jean-Christophe Archambault).

A chaque prélèvement, le contenu du papier kraft est transféré dans une boîte identifiée avec le numéro de la colonie et la date de prélèvement, et le papier kraft est renouvelé. Chaque échantillon correspond à la récupération des pelotes de pollen sur une période de trois jours, d'une semaine ou d'un mois en fonction du rythme d'échantillonnage précisé précédemment. Nos visites dans les ruchers étant espacées de quinze jours, les prélèvements dans cet intervalle de temps ont été réalisés par l'apiculteur lui-même. Les pelotes prélevées ont été placés directement au congélateur à -20°C pour éviter toute dégradation préjudiciable à l'identification des taxons polliniques.

Chaque prélèvement du contenu du plancher des ruches comprend les pelotes de pollen mais également de nombreux résidus issus du nettoyage de la ruche par les abeilles ainsi que des *Varroa destructor*¹² et des *Braula coeca*¹³ (Figure 23).



Figure 23. Illustrations de contenus de planchers de différentes colonies à différentes périodes de l'année (photographies : Mélanie Piroux).

Les pelotes de pollen ont été triées, collectées et « poolées » au laboratoire (Figure 24).

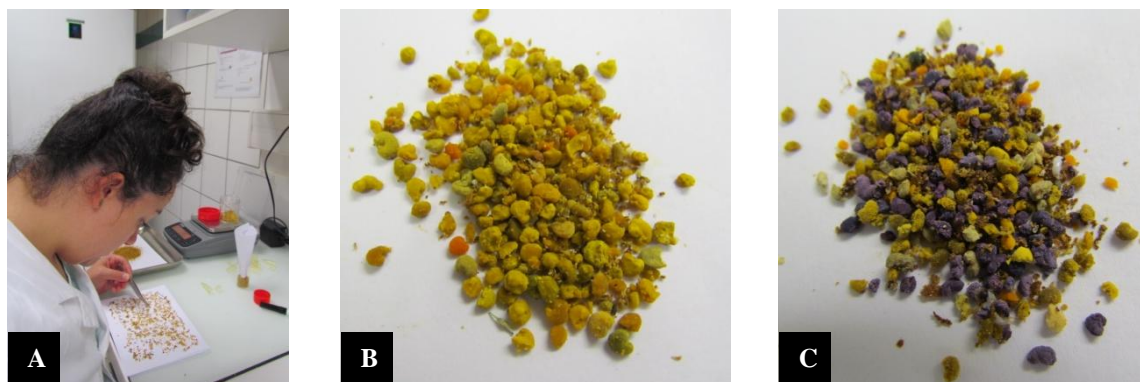


Figure 24. Tri des pelotes de pollen (A) et pools d'échantillons de pelotes de pollen (B et C) (photographies : Mélanie Piroux).

Les prélèvements qui ont été effectués entre avril et septembre, soit tous les trois jours ou toutes les semaines, ont été poolés sur des périodes de quinze jours (Figure 21), puis un identifiant unique leur a été attribué. Les prélèvements effectués d'octobre à mars, étant

¹² Acarien parasite de l'Abeille domestique, apparu en France en 1982 sauf sur l'île d'Ouessant où il n'a pas encore été identifié.

¹³ Insecte commensal de l'Abeille domestique, aujourd'hui absent du continent mais encore présent sur l'île d'Ouessant.

effectués sur une période d'un mois, ont simplement été triés et identifiés selon le même code utilisé pour les échantillons « poolés » (Tableau 13).

Les échantillons de pelotes de pollen ont ensuite été transmis au laboratoire chargé des analyses palynologiques : l'Unité d'Expertise 3P « Phytoprotection, Palynologie, Pathologie des abeilles » de Montpellier SupAgro. L'analyse palynologique a été réalisée selon la méthode de Cour (Patent CNRS-ANVAR, Cour, 1974), en accord avec la méthode européenne (von der Ohe *et al.*, 2004) (Annexe 2).

Tableau 13. Numéros d'échantillons de pelotes de pollen et périodes de début et de fin de prélèvements pour chacun des deux ruchers (ML et V) sur les deux années étudiées (2011 et 2012).

	N° Echantillon de pollen	Rucher ML		Rucher V	
		Date de début du prélèvement	Date de fin du prélèvement	Date de début du prélèvement	Date de fin du prélèvement
Année 2011	Pollen 1	18/04/2011	30/04/2011	18/04/2011	29/04/2011
	Pollen 2	01/05/2011	12/05/2011	30/04/2011	15/05/2011
	Pollen 3	13/05/2011	31/05/2011	16/05/2011	31/05/2011
	Pollen 4	01/06/2011	15/06/2011	01/06/2011	15/06/2011
	Pollen 5	16/06/2011	30/06/2011	16/06/2011	27/06/2011
	Pollen 6	01/07/2011	19/07/2011	28/06/2011	18/07/2011
	Pollen 7	20/07/2011	01/08/2011	19/07/2011	02/08/2011
	Pollen 8	02/08/2011	16/08/2011	03/08/2011	17/08/2011
	Pollen 9	17/08/2011	30/08/2011	18/08/2011	31/08/2011
	Pollen 10	31/08/2011	14/09/2011	01/09/2011	16/09/2011
	Pollen 11	15/09/2011	29/09/2011	17/09/2011	30/09/2011
	Pollen 12	30/09/2011	02/11/2011	01/10/2011	03/11/2011
	Pollen 13	03/11/2011	01/12/2011	04/11/2011	01/12/2011
	Pollen 14	02/12/2011	04/01/2012	02/12/2011	04/01/2012
Année 2012	Pollen 15	05/01/2012	30/01/2012	05/01/2012	30/01/2012
	Pollen 16	31/01/2012	29/02/2012	31/01/2012	29/02/2012
	Pollen 17	01/03/2012	03/04/2012	01/03/2012	02/04/2012
	Pollen 18	04/04/2012	17/04/2012	03/04/2012	17/04/2012
	Pollen 19	18/04/2012	30/04/2012	18/04/2012	31/04/2012
	Pollen 20	01/05/2012	16/05/2012	01/05/2012	16/05/2012
	Pollen 21	17/05/2012	30/05/2012	17/05/2012	31/05/2012
	Pollen 22	31/05/2012	18/06/2012	01/06/2012	18/06/2012
	Pollen 23	19/06/2012	30/06/2012	19/06/2012	29/06/2012
	Pollen 24	01/07/2012	14/07/2012	30/06/2012	17/07/2012
	Pollen 25	15/07/2012	31/07/2012	18/07/2012	30/07/2012
	Pollen 26	01/08/2012	18/08/2012	31/07/2012	17/08/2012
	Pollen 27	19/08/2012	01/09/2012	18/08/2012	31/08/2012
	Pollen 28	02/09/2012	18/09/2012	01/09/2012	17/09/2012
	Pollen 29	19/09/2012	02/10/2012	18/09/2012	28/09/2012
	Pollen 30	03/10/2012	31/10/2012	29/09/2012	31/10/2012

Les résultats se présentent sous forme de profils palynologiques correspondants aux différents échantillons de pelotes de pollen à des dates données. Chaque profil palynologique restitue l'ensemble des pollens identifiés dans l'échantillon et leur quantité (en nombre de grains de pollen comptés et en pourcentage). La détermination palynologique étant complexe (Louveaux *et al.*, 1970), les pollens sont identifiés à la famille, au genre et quelquefois à l'espèce. Nous parlerons donc de « **taxon pollinique** » quand il s'agit d'identifier plusieurs pollens différents qui n'ont pas le même niveau d'identification.

Pour enregistrer les résultats palynologiques des pelotes de pollen, un tri a été effectué au sein des espèces de chaque profil. En effet, certains taxons présents dans le profil palynologique à un temps T, sont des pollens « hors-saison » (le taxon présent n'est pas en fleur dans l'aire de butinage, ni ailleurs, au temps T) qui doivent être des pelotes ou fragments de pelotes tombés des cadres lors de la manipulation du pain de pollen par les nourrices. Les « taxons hors-saison » ont été écartés de ces profils palynologiques de pelotes de pollen grâce aux informations phénologiques des différentes espèces identifiées sur le terrain et aux recoupements de données bibliographiques (Coste, 2000 ; Fournier, 2001 ; Aeschimann *et al.*, 2004).

II.3.2. Validation de la méthode d'échantillonnage des pelotes de pollen

L'échantillonnage des pelotes de pollen ayant été fait sur le plancher des ruches et non dans des trappes à pollen (méthode classiquement utilisée, Lavie & Fresnaye, 1963), il était important de valider la méthodologie utilisée. Pour cela, un protocole a été mis en place sur le rucher expérimental du site de la Géraudière à Oniris-Nantes, en 2012.

Les pelotes de pollen ont été récoltées sur quatre colonies (G1, G2, G3, G4) selon deux méthodes :

- un échantillonnage a été effectué au niveau du plancher de chaque ruche comme cela a été expliqué précédemment (Cf. II.3.1). Le papier kraft a été disposé sur le plancher plein trois jours avant le prélèvement. Le contenu de chaque plancher a été conditionné et identifié (Tableau 14) ;
- un échantillonnage a également été effectué sur ces mêmes colonies, directement après le prélèvement du contenu du plancher, avec des trappes à pollen « type trappe d'entrée ». Les trappes ont été activées pendant un à trois jours (en fonction des conditions climatiques essentiellement) puis les pelotes de pollen ont été récoltées et identifiées (Tableau 14).

Tableau 14. Identification des échantillons et date des prélèvements de pelotes de pollen.

Echantillons pollen de plancher	Date	Echantillons pollen de trappe	Date
PPG1	29/06/2012	PTG1	02/07/2012
PPG1	30/07/2012	PTG1	31/07/2012
PPG1	28/09/2012	PTG1	01/10/2012
PPG2	29/06/2012	PTG2	02/07/2012
PPG2	30/07/2012	PTG2	31/07/2012
PPG2	28/09/2012	PTG2	01/10/2012
PPG3	29/06/2012	PTG3	02/07/2012
PPG3	30/07/2012	PTG3	31/07/2012
PPG3	28/09/2012	PTG3	01/10/2012
PPG4	29/06/2012	PTG4	02/07/2012
PPG4	30/07/2012	PTG4	31/07/2012
PPG4	28/09/2012	PTG4	01/10/2012

Les prélèvements du contenu des planchers ont été triés et les pelotes de pollen ont été collectées, identifiées et stockées à -20°C.

L'ensemble des échantillons de pelotes de pollen a ensuite été transmis au laboratoire chargé des analyses palynologiques : l'Unité d'Expertise 3P « Phytoprotection, Palynologie, Pathologie des abeilles » de Montpellier SupAgro (Cf. II.3.1).

II.4. Echantillonnage du miel

L'objectif de cet échantillonnage est de connaître les ressources mellifères qui ont été exploitées par les abeilles grâce à la détermination des pollens présents dans le miel. Deux échantillonnages de miel ont été réalisés dans le cadre de ce suivi, un à la colonie et un au niveau du rucher.

II.4.1. Echantillonnage de miel à la colonie

Les prélèvements de miel ont été réalisés sur deux colonies de chaque rucher, dont une colonie locale et une colonie d'Ouessant, correspondant aux colonies qui n'ont pas été échantillonnées pour les pelotes de pollen. Les colonies sélectionnées sont donc les suivantes :

- Rucher ML du Maine-et-Loire : colonie locale ML1 et colonie d'Ouessant MLO3,

- Rucher V de Vendée : colonie locale V4 et colonie d'Ouessant VO3/VO4 (la disparition de la colonie VO3 en milieu de saison apicole 2012, nous a contraint de poursuivre les prélèvements sur la colonie VO4).

L'échantillonnage a débuté à la fin du mois d'avril 2011 et s'est répété à la fin de chaque mois jusqu'en septembre, pour les saisons apicoles 2011 et 2012 (Tableau 15, Figure 21).

Tableau 15. Date d'échantillonnage de miel pour les colonies du rucher du Maine-et-Loire (ML1 et MLO3) et les colonies du rucher de Vendée (V4, VO3 et VO4). La couleur noire atteste un prélèvement, la couleur blanche indique l'absence d'échantillon. Les prélèvements sur la colonie VO4 sont figurés en gris (la présence d'échantillon pour la colonie VO3 restant en noir).

	Rucher ML			Rucher V		
	Date d'échantillonnage	ML1	MLO3	Date d'échantillonnage	V4	VO3/VO4
Année 2011	28/04/2011			29/04/2011		
	30/05/2011			31/05/2011		
	30/06/2011			01/07/2011		
	01/08/2011			02/08/2011		
	30/08/2011			31/08/2011		
	29/09/2011			30/09/2011		
Année 2012	03/05/2012			30/04/2012		
	30/05/2012			31/05/2012		
	28/06/2012			29/06/2012		
	31/07/2012			31/07/2012		
	30/08/2012			31/08/2012		
	27/09/2012			28/09/2012		

Le miel a été prélevé de façon à ce qu'il soit de fabrication la plus récente possible. Nous avons donc prélevé le miel dans la hausse préférentiellement, ou dans le corps de ruche lors de l'absence de hausse. Le prélèvement a été réalisé grâce à un cutter propre et désinfecté entre chaque prélèvement au sein du rucher (Figure 25).

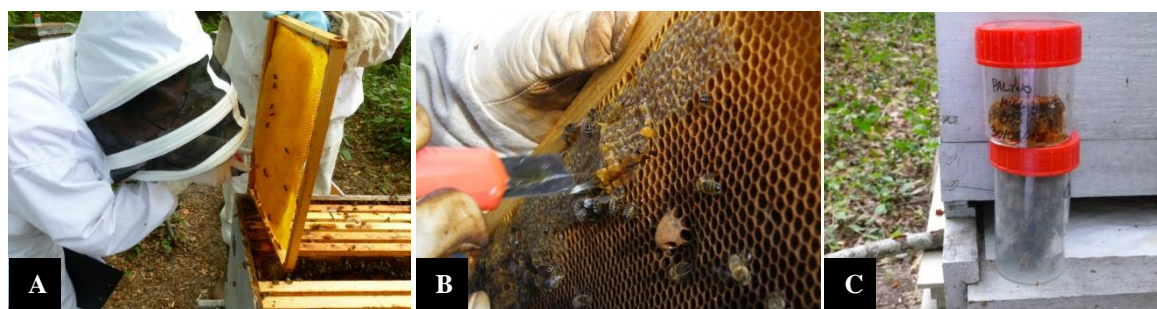


Figure 25. Prélèvement de miel à l'aide d'un cutter (A et B) et échantillon de miel (C) (photographies : Jean-Christophe Archambault (A et C), CVFSE/Oniris (B)).

Une fois prélevés, les échantillons de miel ont été stockés à -20°C, puis ont été transférés au laboratoire chargé des analyses à Montpellier (Cf. II.3.1.).

II.4.2. Echantillonnage de miel au niveau du rucher

Dans le cadre d'un partenariat avec LVMH-Recherche et Guerlain SA, des échantillons de miel issus des récoltes de miel spécifique à l'origine des colonies (locales et Ouessant) ont été prélevés. Lors de chaque récolte de miel, l'apiculteur a pris soin de collecter les hausses de miel (hausses et cadres de hausses préalablement identifiés dans le but d'être réutilisés sur la même ruche) et d'extraire le miel de ces hausses en fonction de l'origine des colonies. Entre chaque type de récolte, l'extracteur a été nettoyé pour ne pas avoir de mélange de récolte. Un échantillon a été prélevé pour chaque miel, miel d'abeilles locales et miel d'abeilles d'Ouessant. Cet échantillonnage a été réalisé en 2011 et 2012 (Tableau 16).

Tableau 16. Dates de récolte et des échantillons de miel au sein des deux ruchers pour chaque type de miel (miel d'abeilles locales et miel d'abeilles d'Ouessant). La couleur noire atteste un prélèvement, la couleur blanche indique l'absence d'échantillon.

Date de récolte	Rucher ML		Rucher V	
	Miel d'abeilles locales	Miel d'abeilles d'Ouessant	Miel d'abeilles locales	Miel d'abeilles d'Ouessant
28/04/2011				
04/05/2011				
16/05/2011				
23/06/2011				
09/08/2011				
17/08/2011				
21/05/2012				
25/05/2012				
Début juillet 2012				
13/08/2012				
16/08/2012				

Les analyses palynologiques des échantillons de miel ont été réalisées par le Laboratoire d'Expertise des Miels de Naturalim France Miel.

II.5. Données supplémentaires

Dans le cadre de cette étude, différents paramètres ont été mesurés (récoltes des colonies), évalués (état général et sanitaire des colonies), ou enregistrés (conditions météorologiques) pour nous permettre d'analyser plus finement les données disponibles à l'issue du suivi nutritionnel des colonies.

II.5.1. Poids des récoltes de miel

Chaque récolte de miel pour chaque colonie a été systématiquement mesurée par les apiculteurs, en 2011 et en 2012 et est exprimée en poids de miel récolté par colonie.

II.5.2. Evaluation des colonies

Lors des prélèvements au sein de chaque colonie (pelotes de pollen, miel, abeilles), une fiche d'évaluation sur l'état de santé de la colonie a été renseignée ([Tableau 17](#)).

Différents critères ont été évalués :

- Des critères généraux par rapport au rucher : la date de visite, les conditions météorologiques au moment de l'évaluation et des prélèvements ;
- Des critères sur le « long terme » : âge de la reine, production de miel ;
- Des critères avant l'ouverture de la ruche ;
- Des critères après l'ouverture de la ruche : la taille de la grappe d'abeilles, le volume du couvain (estimé à partir des surfaces minimale et maximale de couvain sur les cadres, inspirées de la méthode de Liebefeld ([Imdorf *et al.*, 1987](#)), le nombre de cadres de couvain par rapport au nombre de cadres occupés, le nombre de hausses exploitées par rapport au nombre total de hausses, la présence ou l'absence de couvain dans la hausse, la présence et une estimation de la quantité de couvain de mâles et d'individus mâles, les réserves en pollen et en miel, la présence d'une colonie bourdonneuse ou non et le remérage éventuel de la colonie avec sa date. Les critères quantifiables sont évalués grâce à une note pouvant prendre différentes valeurs, entre 0 (très mauvais état) et 4 (excellent état).

Tableau 17. Fiche d'évaluation remplie lors de chaque visite de rucher pour chacune des colonies étudiées
 (* critères évalués avec une note de 0 = très mauvais état à 4 = excellent état).

Date de visite
Météo
Rucher
N° ruche
Age de la reine
Poids de la ruche (kg) (pour celle bénéficiant d'un pèse-ruche)
Production de miel (kg)
CONSTAT AVANT OUVERTURE DE LA RUCHE
<i>Mortalité devant la ruche*</i>
<i>Activité sur la planche d'envol*</i>
<i>Traces de salissures sur la planche d'envol*</i>
<i>Comportement normal sur la planche d'envol*</i>
<i>Si anormal, précisez :</i>
<i>Agressivité oui/non</i>
CONSTAT SUR RUCHE OUVERTE
<i>Taille de la grappe*</i>
<i>Volume de couvain</i>
<i>Nombre de cadres de couvain par rapport au nombre de cadres occupés</i>
<i>Nombre hausses exploitées/ Nombre hausses total</i>
<i>Ponte dans la hausse oui/non</i>
<i>Homogénéité du couvain*</i>
<i>Couvain en mosaïque oui/non</i>
<i>Présence (et ratio) des différents stades (Couvain mâle/femelle, Mâle/Ouvrières)</i>
<i>Réserves en pollen*</i>
<i>Réserves en miel*</i>
<i>Bourdonneuse oui/non</i>
<i>Remérage oui/non et date</i>
INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES
ETAT GENERAL

II.5.3. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont des paramètres-clés dans le suivi des colonies et de l'environnement du rucher. En effet, la végétation, va être plus ou moins favorisée en fonction des conditions climatiques, ce qui va avoir des répercussions sur la phénologie et la quantité des ressources pollinifères et nectarifères présentes dans l'aire de butinage. La météorologie conditionne également l'activité des abeilles.

Les conditions météorologiques ont dans un premier temps été observées sur le terrain lors de chaque visite de rucher, principalement en notant la température, l'ensoleillement et la présence de vent ; dans un deuxième temps, les informations sur la température et la pluviométrie issues des stations météorologiques les plus proches nous ont été fournies par les services de MétéoFrance (www.meteofrance.com).

Pour le rucher du Maine-et-Loire, la station météorologique d'Angers a été choisie comme point d'information, et pour le rucher de Vendée, c'est celle de la Roche-sur-Yon qui a été choisie. Elles se situent respectivement à environ 10 km et 30 km du rucher correspondant.

II.6. Gestion et analyse des données

Les données obtenues ont été enregistrées, organisées, hiérarchisées, et éventuellement transformées pour être analysées. Une base de données relationnelle a été créée et mise en relation avec un Système d'Information Géographique.

II.6.1. Base de données relationnelle

Une base de données relationnelle a été créée sur Microsoft Access[®] (2007). L'ensemble des données y ont été enregistrées (sauf celles concernant la validation du protocole d'échantillonnage des pelotes de pollen qui a été réalisé sur un autre rucher).

Dans cette base de données, nous retrouvons l'ensemble des informations enregistrées dans différentes tables et reliées à une table centrale « Rucher » contenant les informations générales sur les ruchers étudiés (Figure 26) :

- Table centrale « Rucher » : adresse et coordonnées des deux ruchers étudiés ;
- Table « Occupation du sol » : rassemble les informations sur les différentes parcelles identifiées (identifiant de la parcelle, date, surface, type d'occupation du sol et informations supplémentaires comme la floraison d'une culture ou la fauche d'une prairie) ;
- Tables « Eléments linaires Rucher ML » et « Eléments linaires Rucher V » : l'identifiant, le type de linéaire (haies, bords de route, fossés), la date, la longueur

ainsi que les différentes espèces présentes et leur coefficient d'abondance-dominance aux différentes dates d'inventaires botaniques sont enregistrés dans cette table ;

- Table « Eléments ponctuels » : sont notés l'identifiant du ponctuel, l'espèce identifiée, sa date d'observation et des informations complémentaires telles que sa phénologie ;
- Table « Zones urbanisées » : rassemble des informations de surface et les espèces présentes ainsi que leur indice d'abondance-dominance à un temps T ;
- Table « Palynologie Pollen » : les différentes analyses palynologiques ont été saisies avec l'identifiant de l'échantillon, la qualité et la quantité des différents taxons polliniques présents dans les pelotes de pollen ;
- Tables « Palynologie Miel » et « Palynologie Miel de récolte » : les différentes analyses palynologiques ont été saisies avec l'identifiant de l'échantillon, la qualité et la quantité des différents taxons polliniques présents dans le miel ;
- Table « Evaluation des colonies » : l'ensemble des critères notés lors de chaque évaluation de colonie est enregistré dans cette table ([Tableau 17](#)) ;
- Table « Poids des récoltes de miel » : la ruche, la date et le poids de récolte de miel sont inscrits dans cette table.

.

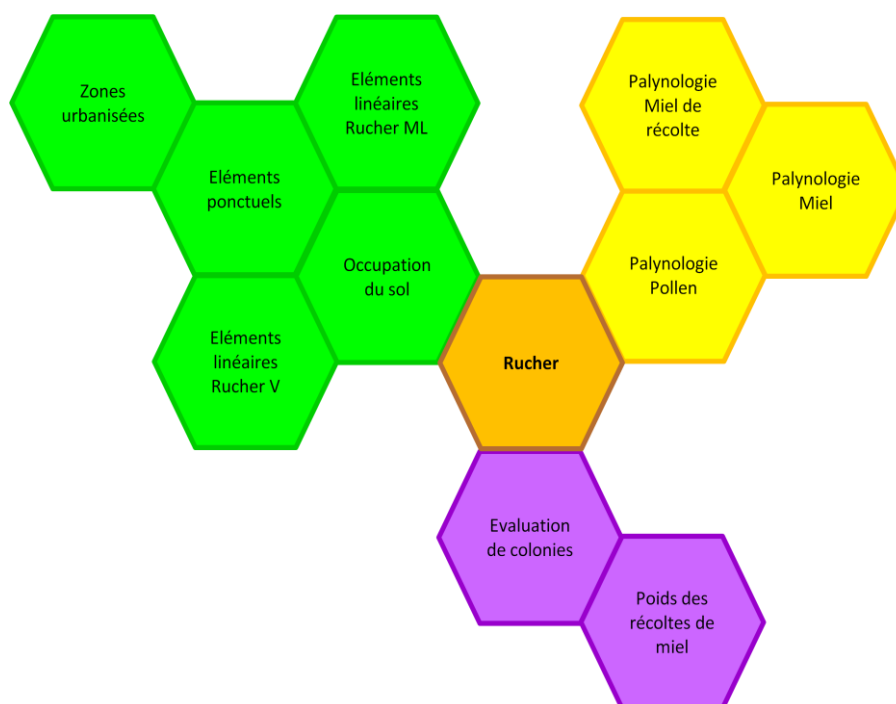


Figure 26. Schéma de la base de données relationnelle construite autour de la table centrale « Rucher ».

La création des tables de la base de données a été faite en parallèle de celles créées dans le Système d'Information Géographique (SIG) afin de pouvoir relier les données numériques et géographiques au sein de ce SIG.

II.6.2. Système d'Information Géographique

Le Système d'Information Géographique, qui est une base de données contenant également des informations de localisation géographique, a été créé sur le logiciel ArcGIS 9.3.1.

Le SIG a été alimenté par différents types de données, projetées dans un même système de coordonnées, le système Lambert 93 (RGF 93)¹⁴ (Figure 27) :

- Des orthophotographies extraites de la BD Ortho[®] de l'IGN. Ces fichiers rasters datent de 2008 pour le Maine-et-Loire et de 2010 pour la Vendée. Ils constituent le fond de carte ;
- Des fichiers vecteurs qui se superposent au fond de carte et présentent différentes données : emplacement des ruchers, identification de l'aire de butinage, occupation du sol (cultures, prairies, surfaces urbanisées, surfaces en eaux et d'autres surfaces), éléments linéaires (haies, bords de route, fossés), éléments ponctuels (espèces isolées). Ces différentes couches d'informations ont été récoltées sur le terrain puis digitalisées sur la base du fond de carte (orthophotographies).

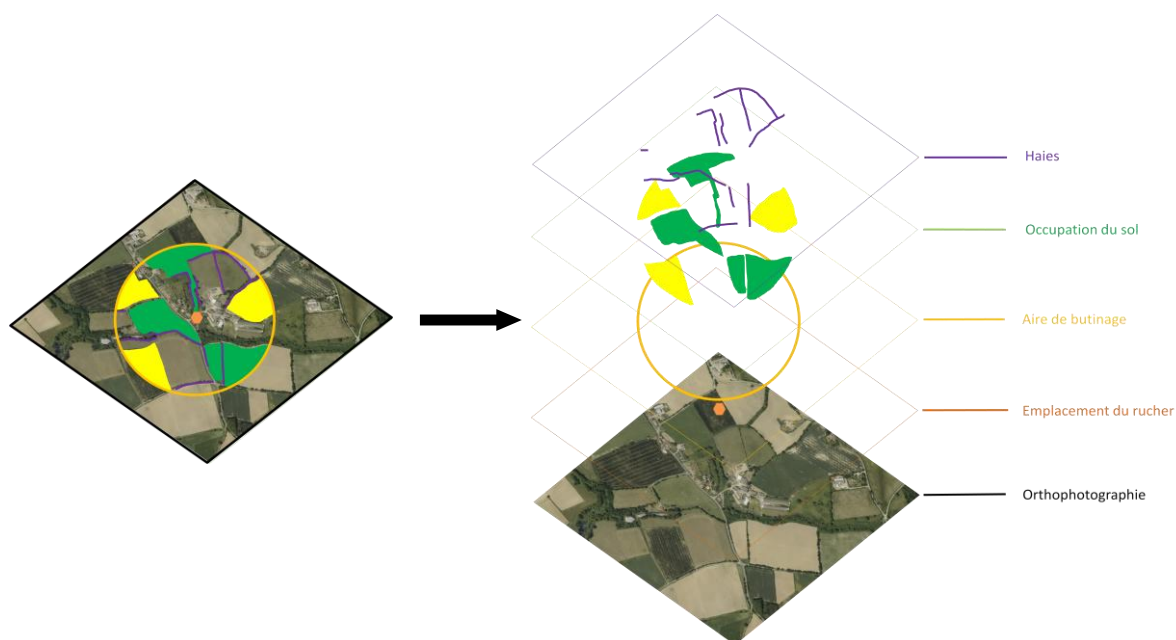


Figure 27. Schéma du Système d'Information Géographique

¹⁴ Ce format est requis pour toute production issue des services de l'Etat, de façon à faciliter les échanges de fichiers entre structures, et il est compatible avec l'importation de données GPS.

Chaque fichier de forme comprend des informations géographiques mais également une table attributaire où différentes informations sont enregistrées avec notamment l'identifiant de chaque entité (ponctuel, linéaire, parcelle). Le format de cet identifiant est identique à celui de la base de données relationnelle, ce qui va nous permettre de joindre les tables de la base de données aux tables attributaires du SIG par un identifiant commun. Ainsi les informations de la base de données relationnelles vont pouvoir être visualisables sur le SIG et plus particulièrement sur des cartes dynamiques créées avec le SIG.

Le SIG nous permet également d'effectuer des calculs de surfaces ainsi que des calculs de distances.

II.6.3. Analyses statistiques

En lien avec le protocole expérimental, deux jeux de données ont été constitués : un pour les données botaniques et un pour les données palynologiques. Des analyses statistiques ont permis d'explorer et de comparer les jeux de données.

Dans un premier temps, les indices écologiques de richesse, de diversité et d'équitabilité ont été calculés pour les espèces végétales fleuries présentes au sein des aires de butinage et pour les taxons polliniques identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen et de miels (Marcon, 2014). L'indice de diversité a été calculé grâce à la formule de Shannon

$$H_s = - \sum p_i \ln(p_i)$$

où i correspond à une espèce végétale (ou un taxon pollinique) et $p_i = \frac{n_i}{N}$ avec n_i le nombre d'individus de cette espèce (ou ce taxon) et N le nombre total d'individus de toutes les espèces (ou taxons). Les indices de richesse ou de diversité ont été comparés, au sein d'un même jeu de données, grâce à des tests non paramétriques : test de Wilcoxon (échantillons appariés) et test de Mann & Withney (échantillons indépendants) car les échantillons étaient de petite taille. Les indices de richesse ou de diversité des données floristiques d'une part et des données palynologiques d'autre part ont été comparés grâce au test de Spearman.

Un test de Wilcoxon a été réalisé, dans le cadre de la validation de la méthode d'échantillonnage, pour chaque taxon pollinique sur l'ensemble des paires d'échantillons (pelotes de pollen de plancher et pelotes de pollen de trappe de la même colonie à un même temps T).

Dans un deuxième temps, des indices de similarité de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957) ont été calculés sur la base des données palynologiques (pelotes de pollen et miels) puis des dendrogrammes ont été réalisés afin de visualiser les similarités entre les différentes colonies.

Enfin, différentes analyses multivariées ont été utilisées en fonction des jeux de données considérées et des questions posées (Pagès *et al.*, 1979) :

- Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée à partir des données d'inventaires floristiques disponibles à différentes périodes de l'année durant les deux saisons apicoles (2011 et 2012). Elle consiste à transformer des variables (dans notre cas les espèces floristiques) liées entre elles en nouvelles variables décorrélatées les unes des autres et permet ainsi de réduire le nombre de variables avec pour objectif de décrire au mieux les proximités entre individus (dans notre cas, aire de butinage à un instant T) (Pagès, 2010) ;
- Des Analyses Factorielles des Correspondances (AFC) ont été réalisées à partir des données palynologiques, issues des analyses de pelotes de pollen, à l'échelle de la famille et du taxon et ont permis de décrire les profils palynologiques des différentes colonies. Une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) a été utilisée pour regrouper les profils palynologiques en fonction des pollens qui les composent ;
- Des Analyses Factorielles Multiples (AFM) ont été utilisées dans le cadre de la validation de la méthode d'échantillonnage, pour comparer le pollen de trappe et le pollen de plancher, et dans l'analyse comparée des données floristiques et palynologiques. Cette AFM est désignée pour l'analyse d'individus (colonie pour une période donnée) décrit par plusieurs blocs de données (botanique, palynologique) comprenant différentes variables (espèces, taxons) (Figure 28). Elle permet d'analyser la relation entre i/ le profil des ressources floristiques disponibles dans l'aire de butinage et ii/ le profil palynologique exploité par l'abeille. Une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) a été utilisée pour regrouper les colonies, à une période donnée, en fonction des fleurs disponibles et des pollens exploités (Pagès, 2013).

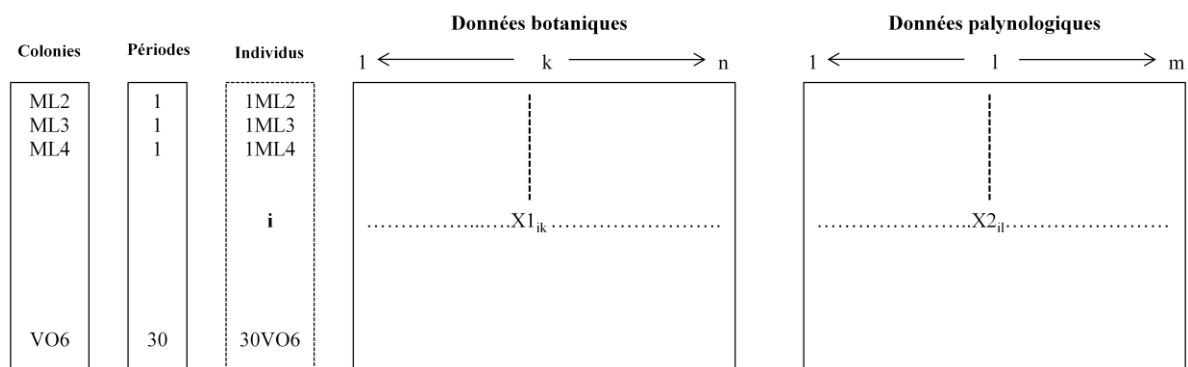
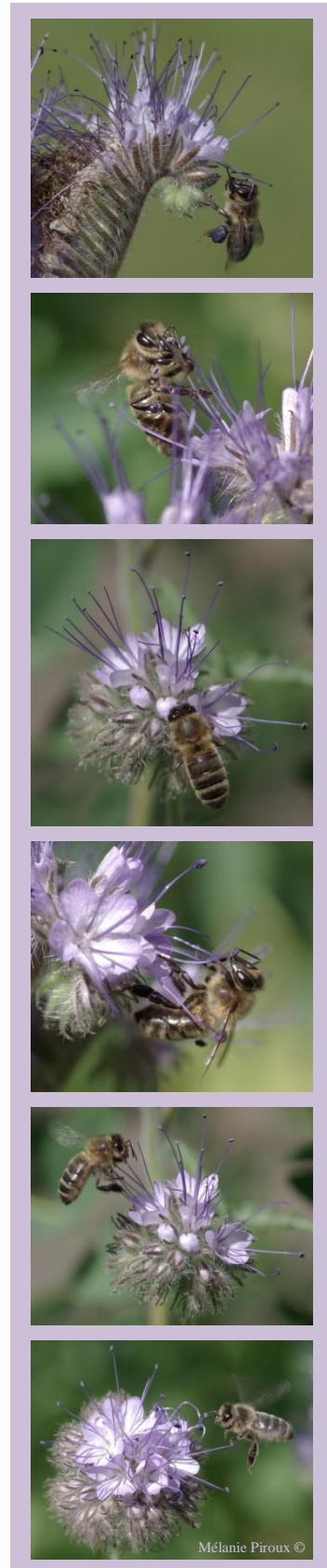


Figure 28. Illustration de la structure des données nécessaire pour réaliser une AFM (réalisation : Chantal Thorin - Statisticienne Oniris).

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 2.12.2, avec différents modules tels que R Commander version 1.6-3, une interface facilitant l'analyse de données sur lequel nous avons pu rajouter le plugin FactoMineR version 1.25 (Lê *et al.*, 2008 ; Husson *et al.*, 2013) qui est dédié à l'analyse exploratoire multidimensionnelle de données. Le module Vegan version 2.0-9 (Oksanen, 2013 ; Oksanen *et al.*, 2013) a également été utilisé car il est particulièrement adapté aux statistiques en écologie.

III. Résultats

Etude des ressources pollinifères et mellifères de deux ruchers en Pays de la Loire (étude 2)



La présentation des résultats de cette étude est déclinée en trois grandes parties. Dans un premier temps, nous présentons les résultats des investigations de terrain ayant permis d'inventorier la **flore disponible** au sein de l'aire de butinage des ruchers. Dans un second temps, nous présentons les résultats des analyses palynologiques réalisées à partir des échantillons de pelotes de pollen et de miels, qui ont permis d'identifier les **ressources exploitées** par les butineuses. Enfin, nous terminons par une analyse conjointe des inventaires botaniques et des analyses palynologiques réalisée dans le but de comprendre les **stratégies de butinage** développées par les abeilles dans ce type de paysage.

III.1. Flore présente dans l'environnement des ruchers ML et V : ressources disponibles

Au total, 56 sessions de terrain ont été réalisées au sein des deux aires de butinage (1,5 km de rayon autour de chaque rucher, soit une aire de 707 ha) sur les deux années d'études, 2011 et 2012. L'**occupation du sol** et la **structure du paysage** sont décrites et commentées dans une première partie et les **espèces végétales présentes** au sein de chaque aire de butinage, sont listées et analysées dans une seconde partie.

III.1.1. Occupation du sol et structure du paysage

Une première prospection de terrain a permis d'effectuer un état des lieux de l'occupation du sol et de la structure du paysage. Les différentes entités, polygones ou linéaires, ont ainsi été identifiées et numérotées sur des photos satellites géoréférencées (**Figure 29**).

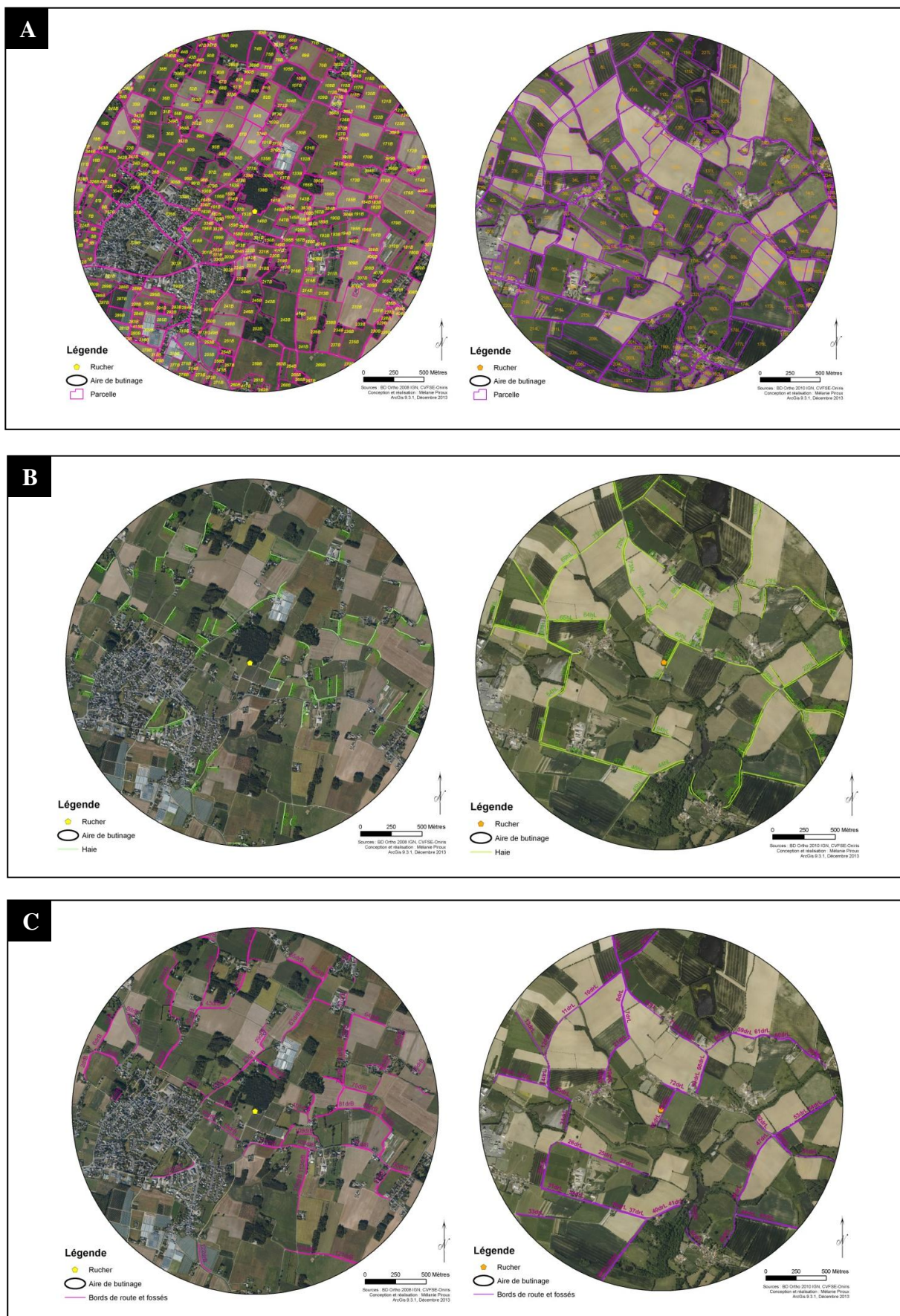


Figure 29. Cartes des entités géographiques de l'aire de butinage du rucher du Maine-et-Loire à gauche et du rucher de Vendée (à droite), A = cartes des parcelles identifiées et numérotées, B = cartes des haies identifiées et numérotées, C = cartes des bords de route et fossés identifiés pour lesquels des inventaires botaniques ont été réalisés.

En lien avec les activités anthropiques, et plus particulièrement les activités agricoles, le paysage des deux ruchers étudiés est morcelé. La **taille des parcelles** agricoles au sein de l'aire de butinage du rucher du Maine-et-Loire (ML) est, en moyenne, plus faible que celle des parcelles agricoles du rucher vendéen (V) : 1,71 ha pour le rucher ML et 2,79 ha pour le rucher V (Figure 29A). A l'inverse, le **linéaire de haie** est moins important pour le rucher ML que pour le rucher V avec respectivement 13,47 m/ha et 32,05 m/ha (Figure 29B).

Le **réseau de bords de route et de fossés** a été inventorié. La figure 29C ne présente que les linéaires pour lesquelles des espèces végétales fleuries ont été identifiées. Le linéaire fleuri étudié au sein des aires de butinage des ruchers ML et V est proche avec respectivement 31,06 m/ha et 32,48 m/ha.

A chaque entité surfacique, suite aux sorties de terrain en 2011 et en 2012, un type d'**occupation du sol** a été attribué sur la base des observations (Tableau 18).

Tableau 18. Types d'occupation du sol pour l'aire de butinage des ruchers ML et V, en 2011 et 2012.

Catégories du rucher ML	Catégories du rucher V
Avoine	Bassin de rétention
Blé	Blé
Blé « barbu »	Blé « barbu »
Blé et seigle	Blé et avoine
Bois	Bois
Boqueteau	Boqueteau
Bosquet	Bord étang
Brassicaceae	Bosquet
Champ post-moisson	Brassicaceae
Colza	Champ post-moisson
Couvert végétal	Couvert végétal
Culture non identifiée	Culture non identifiée
Engrais vert	Emplacement du rucher
Friche	Engrais vert - Phacélie
Luzerne	Étang
Maïs	Friche
Maraîchage	Haricots
Non renseigné	Luzerne
Éillet porte-graine	Maïs
Pelouse	Moutarde
Phacélie	Non renseigné
Poaceae	Orge
Pommes de terre	Poaceae
Prairie	Pois
Prairie et arbres	Pois et féveroles
Prairie et cerisiers	Potager
Prairie et fruitiers	Prairie
Prairie et noyers	Prairie et arbres
Prairie et potager	Prairie et vigne
Semis	Prairie, pommiers et poiriers
Sol nu	Ray-grass
Sorgho	Seigle
Tournesol	Semis
Vergers de cerisiers	Sol nu
Vergers de pommiers	Tournesol
Vergers de pommiers et cerisiers	Zone urbanisée
Zone urbanisée	

Les types d'occupation du sol sont nombreux et permettent, dans un premier temps, de mettre en évidence des particularités propres à chacune des aires de butinage, bien qu'elles soient situées dans un même type paysager (*Cf.* I.1.). En effet, l'environnement du rucher ML comporte des zones de maraîchage, de nombreux vergers et des cultures portes-graines alors que l'environnement du rucher V se caractérise par des cultures de protéagineux comme le pois et la féverole, des surfaces en eau ainsi qu'une absence de cultures de colza (généralement présent dans les paysages agricoles) dans les 1,5 km autour du rucher (Annexe 3).

En raison des nombreux types d'occupation du sol, un reclassement a été entrepris sur la base de catégories classiquement utilisées, notamment pour les terres agricoles (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt). La catégorie « Cultures » est découpée en sous-catégories : les cultures de céréales, les cultures d'oléagineux, les cultures de protéagineux, les cultures fourragères (hors prairies permanentes), les cultures permanentes, le maraîchage et une catégorie « autres surfaces agricoles » dans laquelle figurent les surfaces agricoles présentant une culture minoritaire n'entrant pas dans les catégories précédentes ou permettant de qualifier une surface agricole en devenir. La catégorie « Prairies » concerne uniquement les prairies permanentes¹⁵, la catégorie « Bois, boqueteaux et bosquets » regroupe l'ensemble des surfaces boisées et la catégorie « Autres » caractérise les surfaces minoritaires et/ou les surfaces pour lesquelles il n'y a pas eu de prospection à la date donnée.

En regroupant les types d'occupation du sol au sein de catégories, des tableaux d'occupation du sol synthétiques pour chaque aire de butinage et pour chaque année ont été réalisés (Tableaux 19, 20, 21 et 22).

¹⁵ Une prairie permanente est une prairie naturelle ou une prairie semée depuis longtemps, généralement depuis plus de dix ans. On parle de prairie naturelle lorsque cette prairie s'est ensemencée naturellement (Palacio-Rabaud, 2000).

Tableau 19. Occupation du sol de l'aire de butinage du rucher du Maine-et-Loire en 2011 (Cultures – surlignées en gris : *cultures de céréales* = avoine, blé, seigle, maïs, sorgho ; *cultures d'oléagineux* = brassicaceae*, colza, tournesol ; *cultures fourragères* = luzerne, phacélie ; *cultures permanentes* = vergers ; *autres surfaces agricoles* = œillet porte-graine, champ post-moisson, couvert végétal, culture, poaceae*, semis et sol nu ; Autres = friche, non renseigné et pelouse). *Ces familles de plantes ont été enregistrées lorsque la période annuelle de l'inventaire ne permettait pas une identification jusqu'à l'espèce.

Occupation du sol	Cultures (ha)	Cultures de céréales	Cultures d'oléagineux	Cultures fourragères	Cultures permanentes	Maraîchage	Autres surfaces agricoles	Prairies (ha)	Bois, boqueteaux et bosquets (ha)	Aires urbaines (ha)	Autres (ha)
18/03/2011	328,63	0	23,52	6,96	29,21	14,09	254,85	89,97	50,09	147,42	55,26
04/04/2011	326,14	0	25,1	6,96	29,21	14,09	250,78	90,85	50,09	147,42	56,33
28/04/2011	318,82	68,34	25,1	6,96	29,21	14,09	175,12	90,85	50,09	147,42	63,65
16/05/2011	305,83	209,29	30,17	6,96	29,21	14,09	14,07	90,85	50,31	147,42	76,42
25/05/2011	304,47	214,32	35,87	6,96	29,21	14,09	1,98	90,85	50,31	147,42	77,78
16/06/2011	308,14	214,32	12,13	6,41	29,21	14,09	29,94	90,85	50,31	147,42	74,11
30/06/2011	303,92	214,32	35,87	6,41	29,21	14,09	1,98	90,85	50,31	147,42	78,33
19/07/2011	278,65	211,06	15,38	6,41	29,21	14,09	0,46	90,85	50,31	147,42	103,6
01/08/2011	278,65	211,06	12,13	6,41	29,21	14,09	3,71	90,85	50,31	147,42	103,6
16/08/2011	202,36	130,14	12,13	6,41	29,21	14,09	8,34	90,85	50,31	147,42	179,89
30/08/2011	190,88	126,68	7,06	6,41	29,21	14,09	5,39	90,85	50,31	147,42	188,32
14/09/2011	230,09	101,28	14,92	6,41	29,21	14,09	62,14	90,85	50,31	147,42	152,16
29/09/2011	328,63	0	23,52	6,96	29,21	14,09	254,85	89,97	50,31	147,42	55,26

Tableau 20. Occupation du sol de l'aire de butinage du rucher du Maine-et-Loire en 2012 (Cultures – surlignées en gris : *cultures de céréales* = avoine, blé, seigle, maïs ; *cultures d'oléagineux* = brassicaceae*, colza, tournesol ; *cultures fourragères* = engrais vert, luzerne ; *cultures permanentes* = vergers ; *maraîchage* = maraîchage et pommes de terres ; *autres surfaces agricoles* = champ post-moisson, couvert végétal, poaceae*, semis et sol nu ; Autres = friche, non renseigné et pelouse). *Ces familles de plantes ont été enregistrées lorsque la période annuelle de l'inventaire ne permettait pas une identification jusqu'à l'espèce.

Occupation du sol	Cultures (ha)	Cultures de céréales	Cultures d'oléagineux	Cultures fourragères	Cultures permanentes	Maraîchage	Autres surfaces agricoles	Prairies (ha)	Bois, boqueteaux et bosquets (ha)	Aires urbaines (ha)	Autres (ha)
29/02/2012	235,4	0	24,2	11,3	31,78	14,09	154,03	92,7	50,31	147,42	145
03/04/2012	157,16	0	24,2	11,3	31,78	14,09	75,79	92,7	50,31	147,42	223,24
19/04/2012	335,85	0	24,2	11,3	31,78	14,09	254,48	92,7	50,31	147,42	44,55
03/05/2012	328,54	201,3	24,2	11,85	31,78	14,09	45,32	92,7	50,31	147,42	50,56
14/05/2012	329,84	246,43	24,2	11,85	31,78	14,3	1,28	92,7	50,31	147,42	50,56
30/05/2012	339,78	246,43	24,2	11,85	31,78	14,3	11,22	92,7	50,31	147,42	40,62
18/06/2012	343,19	247,05	36,93	11,85	31,78	14,3	1,28	92,7	50,31	147,42	37,21
28/06/2012	343,19	247,05	36,93	11,85	31,78	14,3	1,28	92,7	50,31	147,42	37,21
16/07/2012	343,19	247,05	36,93	11,85	31,78	14,3	1,28	92,7	50,25	147,42	37,21
31/07/2012	318,99	247,05	12,73	11,85	31,78	14,3	1,28	92,7	50,31	147,42	61,41
16/08/2012	318,78	247,05	12,73	11,85	31,78	14,09	1,28	92,7	50,31	147,42	61,62
30/08/2012	280,3	107,21	10,29	11,85	31,78	14,09	105,08	92,7	50,31	147,42	100,1
18/09/2012	289,76	98,26	23,18	11,85	31,78	14,09	110,6	92,7	50,31	147,42	90,64
27/09/2012	249,11	73,94	3,26	19,7	31,78	14,09	106,34	92,7	50,31	147,42	131,29
30/10/2012	334,29	28,2	0	28,74	31,78	14,09	231,48	91,98	50,31	147,42	46,11

L'aire de butinage du rucher ML est couverte par 293 ha de cultures en moyenne (années 2011 et 2012 confondues), comprenant des céréales, dont une majorité de blé et de maïs, des oléagineux (colza, tournesol), des cultures fourragères comme la luzerne, ainsi que de nombreux vergers (pommiers essentiellement), du maraîchage sous serre avec notamment de la culture porte-graine d'*Allium* sp. en 2011 et des cultures porte-graine en plein champ comme l'œillet. Les prairies sont également présentes dans ce paysage, sur une surface de 90 ha. Les zones boisées, bois, boqueteaux et bosquets, couvrent une surface de 50,31 ha et les aires urbaines 147,42 ha.

Tableau 21. Occupation du sol de l'aire de butinage du rucher de Vendée en 2011 (Cultures – surlignées en gris : *cultures de céréales* = avoine, blé, maïs, orge ; *cultures d'oléagineux* = moutarde, tournesol ; *cultures de protéagineux* = haricots, pois et fèves ; *cultures fourragères* = engrais vert, luzerne, ray-grass ; *cultures permanentes* = vigne, pommiers et poiriers ; *autres surfaces agricoles* = champ post-moisson, couvert végétal, culture non identifiée, poaceae*, potager, semis et sol nu ; Surfaces en eau : bassin de rétention, étang ; Autres = bord d'étang, emplacement du rucher, friche, non renseigné). *Cette famille de plantes a été enregistrée lorsque la période annuelle de l'inventaire ne permettait pas une identification jusqu'à l'espèce.

Occupation du sol	Cultures (ha)	Cultures de céréales	Cultures d'oléagineux	Cultures de protéagineux	Cultures fourragères	Cultures permanentes	Autres surfaces agricoles	Prairies (ha)	Bois, boqueteaux et bosquets (ha)	Aires urbaines (ha)	Surfaces en eau (ha)	Autres (ha)
17/03/2011	315,95	0	0	0	26,34	1,27	288,34	154,7	42,46	56,11	25,02	86,78
04/04/2011	339,25	0	0	0	26,34	1,27	311,64	154,7	42,46	56,11	25,02	60,3
29/04/2011	325,17	149,12	0	0	21,07	1,27	153,71	154,7	42,46	56,11	25,02	75,88
12/05/2011	320,07	216,88	0	0,51	21,07	1,27	80,34	156,03	42,46	56,11	25,02	81,33
17/05/2011	326,43	283,51	3,21	0,51	23,81	1,27	14,12	156,03	42,46	56,11	25,02	74,97
31/05/2011	327,56	283,51	3,21	4,07	23,81	1,27	11,69	156,03	42,46	56,11	25,02	73,84
01/07/2011	318,55	283,51	3,21	4,07	23,81	1,27	2,68	156,03	42,46	56,11	25,02	82,85
18/07/2011	304,1	269,57	3,21	3,56	23,81	1,27	2,68	156,03	42,46	56,11	25,02	97,3
02/08/2011	168,53	135,87	3,21	3,56	23,81	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	232,87
17/08/2011	171,78	127,85	3,21	3,56	23,81	1,27	12,08	156,03	42,46	56,11	25,02	229,62
31/08/2011	300,89	124,44	3,21	3,56	19,26	1,27	149,15	156,03	42,46	56,11	25,02	95,96
16/09/2011	280,84	102,03	0	0	21,07	1,27	156,47	156,03	42,46	56,11	25,02	120,56
30/09/2011	309,65	102,03	21,25	0	21,07	1,27	164,03	156,03	42,46	56,11	25,02	91,75
01/12/2011	44,4	0	21,25	0	21,07	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	357

Tableau 22. Occupation du sol de l'aire de butinage du rucher de Vendée en 2012 (Cultures – surlignées en gris : *cultures de céréales* = blé, maïs, seigle ; *cultures d'oléagineux* = brassicaceae*, tournesol ; *cultures de protéagineux* = haricots, pois ; *cultures fourragères* = luzerne, ray-grass ; *cultures permanentes* = vigne, pommiers et poiriers ; *autres surfaces agricoles* = champ post-moisson, couvert végétal, culture non identifiée, poaceae*, potager, semis et sol nu ; Surfaces en eau : bassin de rétention, étang ; Autres = bord d'étang, emplacement du rucher, friche, non renseigné). * Ces familles de plantes ont été enregistrées lorsque la période annuelle de l'inventaire ne permettait pas une identification jusqu'à l'espèce.

Occupation du sol	Cultures (ha)	Cultures de céréales	Cultures d'oléagineux	Cultures de protéagineux	Cultures fourragères	Cultures permanentes	Autres surfaces agricoles	Prairies (ha)	Bois, boqueteaux et bosquets (ha)	Aires urbaines (ha)	Surfaces en eau (ha)	Autres (ha)
29/02/2012	274,63	0	0	0	23,6	1,27	249,76	158,06	42,46	56,11	25,02	124,74
02/04/2012	352,72	0	0	0	23,6	1,27	327,85	156,03	42,46	56,11	25,02	48,68
13/04/2012	305,85	0	0	16,05	23,6	1,27	264,93	156,03	42,46	56,11	25,02	95,55
30/04/2012	192,8	8,47	0	16,05	31,65	1,27	135,36	156,03	42,46	56,11	25,02	208,6
16/05/2012	280,42	134,68	0	16,05	31,65	1,27	96,77	156,03	42,46	56,11	25,02	120,98
31/05/2012	340,9	226,11	3,41	16,05	31,65	1,27	62,41	156,03	42,46	56,11	25,02	60,5
15/06/2012	347,29	289,09	3,41	18,72	31,65	1,27	3,15	156,03	42,46	56,11	25,02	54,11
29/06/2012	347,29	291,43	3,41	18,72	31,65	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	54,11
17/07/2012	347,29	291,43	3,41	18,72	31,65	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	54,11
31/07/2012	331,24	291,43	3,41	2,67	31,65	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	70,16
17/08/2012	331,24	291,43	3,41	2,67	31,65	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	70,16
31/08/2012	199,54	163,14	0	2,67	31,65	1,27	0,81	156,03	42,46	56,11	25,02	201,86
17/09/2012	194,31	155,3	0	0	31,65	1,27	6,09	156,03	42,46	56,11	25,02	207,09
28/09/2012	227,92	141,32	1,87	0	31,65	1,27	51,81	156,03	42,46	56,11	25,02	173,48
31/10/2012	355,29	106,38	1,87	0	31,65	1,27	214,12	156,03	42,46	56,11	25,02	46,11

L'aire de butinage du rucher V est également dominée par les cultures, présentes sur 290 ha en moyenne (années 2011 et 2012 confondues) et comprenant des céréales (majorité de blé et de maïs), des oléagineux (moutarde, tournesol) mais pas de colza, des protéagineux (pois, féveroles), des cultures fourragères (luzerne, ray-grass), et peu de cultures permanentes, représentées principalement par de la vigne. Les prairies couvrent une surface de 156 ha au sein de cette aire de butinage. Les surfaces boisées représentent 42,46 ha, les surfaces urbaines 56,11 ha et les surfaces en eau 25,02 ha.

Pour une vision plus globale de la composition de l'aire de butinage de chaque rucher, des cartes d'occupation du sol ont été réalisées en mai et juin respectivement pour les années 2011 et 2012 (Figure 30). Il s'agit de la période de l'année où la surface agricole exploitée est la plus importante. Peu ou pas de différences ont été observées d'une année sur l'autre.

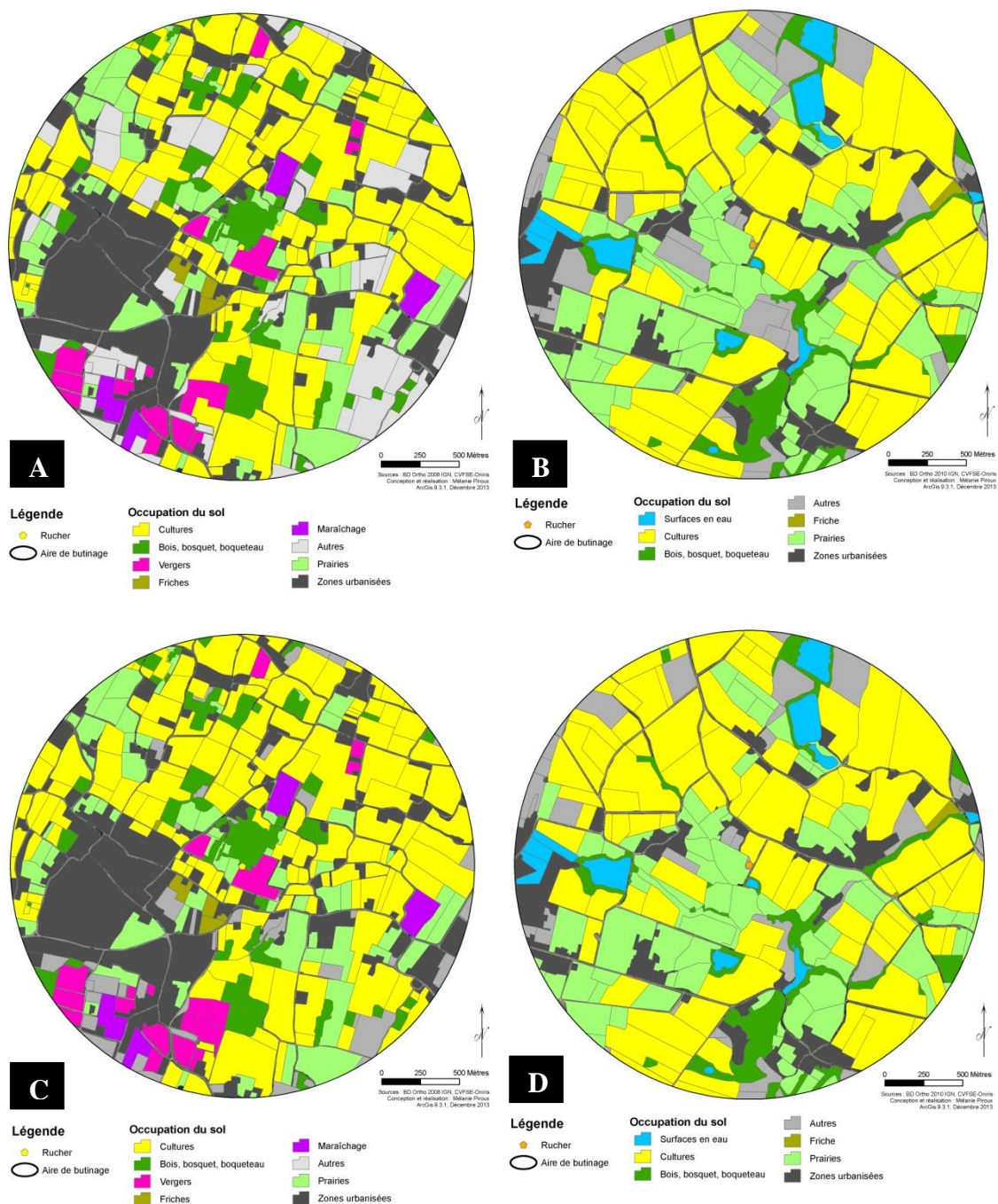


Figure 30. Cartes d'occupation du sol de l'aire de butinage des ruchers ML et V, A= aire de butinage du rucher ML en 2011 (16/05/2011), B = aire de butinage du rucher V en 2011 (31/05/2011), C = aire de butinage du rucher ML en 2012 (18/06/2012) et D = aire de butinage du rucher V en 2012 (15/06/2012).

Afin de mieux connaître les ressources disponibles pour l'abeille dans son aire principale de butinage, les données d'occupation du sol ont été complétées par des inventaires botaniques réalisés sur les différentes entités (surfaiques ou linéaires) de chacun des environnements.

III.1.2. Espèces végétales présentes dans les deux aires de butinage

Au sein des deux aires de butinage, en 2011 et en 2012, 82 familles et 358 espèces végétales ont pu être identifiées. Parmi ces espèces, 245 sont **sauvages** (dont 52 sont des phanérophytes et chamaephytes frutescents) (Tableaux 23 et 24), 35 sont **cultivées** (Tableau 25), 78 sont **ornementales** (Tableau 26).

Tableau 23. Familles et espèces sauvages (phanérophytes et chamaephytes frutescents) identifiées au sein des deux aires de butinage pendant les deux années d'étude, 2011 et 2012 (Nom vernaculaire en annexe 4).

Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées
Sapindaceae	<i>Acer campestre</i>	Fabaceae	<i>Genista tinctoria</i>	Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.
Sapindaceae	<i>Acer platanoides</i>	Araliaceae	<i>Hedera helix</i>	Salicaceae	<i>Salix atrocinerea</i>
Sapindaceae	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Aquifoliaceae	<i>Ilex aquifolium</i>	Salicaceae	<i>Salix babylonica</i>
Sapindaceae	<i>Acer</i> sp.	Juglandaceae	<i>Juglans regia</i>	Salicaceae	<i>Salix caprea</i>
Sapindaceae	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Oleaceae	<i>Ligustrum vulgare</i>	Salicaceae	<i>Salix fragilis</i>
Sapindaceae	<i>Aesculus</i> sp.	Caprifoliaceae	<i>Lonicera periclymenum</i>	Salicaceae	<i>Salix</i> sp.
Betulaceae	<i>Alnus glutinosa</i>	Salicaceae	<i>Populus alba</i>	Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i>
Betulaceae	<i>Alnus</i> sp.	Salicaceae	<i>Populus nigra</i>	Rosaceae	<i>Sorbus aria</i>
Betulaceae	<i>Carpinus betulus</i>	Salicaceae	<i>Populus</i> sp.	Rosaceae	<i>Sorbus torminalis</i>
Betulaceae	<i>Carpinus</i> sp.	Salicaceae	<i>Populus tremula</i>	Taxaceae	<i>Taxus baccata</i>
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i>	Rosaceae	<i>Prunus</i> sp.	Malvaceae	<i>Tilia cordata</i>
Ranunculaceae	<i>Clematis vitalba</i>	Rosaceae	<i>Prunus spinosa</i>	Malvaceae	<i>Tilia platyphyllos</i>
Cornaceae	<i>Cornus sanguinea</i>	Fagaceae	<i>Quercus robur</i>	Malvaceae	<i>Tilia</i> sp.
Betulaceae	<i>Corylus avellana</i>	Fagaceae	<i>Quercus</i> sp.	Fabaceae	<i>Ulex europaeus</i>
Rosaceae	<i>Crataegus monogyna</i>	Fabaceae	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	Ulmaceae	<i>Ulmus minor</i>
Celastraceae	<i>Euonymus europaeus</i>	Rosaceae	<i>Rosa canina</i>	Loranthaceae	<i>Viscum album</i>
Oleaceae	<i>Fraxinus</i> sp.	Rosaceae	<i>Rosa</i> sp.		
Fabaceae	<i>Genista</i> sp.	Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i>		

Parmi les **espèces sauvages**, les phanérophytes et chamaephytes frutescents sont des espèces retrouvées principalement dans les zones boisées, bois, boqueteaux et bosquets ainsi que dans les haies. Par la suite, ces espèces seront identifiées comme des **espèces sauvages ligneuses**. Parmi ces espèces (Tableau 23), sont présentes :

- des espèces d'arbres comme le Marronnier commun (*Aesculus hippocastanum*), le Châtaignier commun (*Castanea sativa*), les chênes (*Quercus* spp.), le Robinier faux-acacia (*Robinia pseudo-acacia*) (Figure 31) ;



Figure 31. *Aesculus hippocastanum* (à gauche), *Castanea sativa* (au centre) et *Robinia pseudo-acacia* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

- des espèces d'arbustes comme le Cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), les genêts (*Genista* spp.), l'Épine noire (*Prunus spinosa*), le Saule marsault (*Salix caprea*), le Sureau noir (*Sambucus nigra*) (Figure 32) ;

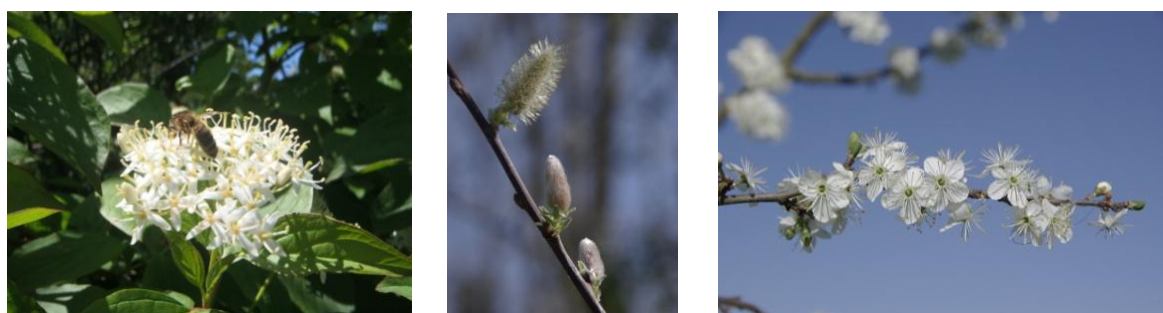


Figure 32. *Cornus sanguinea* (à gauche), *Salix caprea* (au centre) et *Prunus spinosa* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

- des espèces d'arbrisseaux telles que le Noisetier commun (*Corylus avellana*), l'Aubépine monogyne (*Crataegus monogyna*) ou encore le Gui des feuillus (*Viscum album*) qui est une épiphyte (Figure 33) ;



Figure 33. *Corylus avellana* (à gauche) et *Crataegus monogyna* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

- des espèces de lianes comme la Clématite des haies (*Clematis vitalba*) ou le Lierre rampant (*Hedera helix*) (Figure 34).



Figure 34. *Hedera helix* (à gauche) et *Clematis vitalba* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

Les autres espèces sauvages identifiées sont des chamaephytes herbacées, des hémicryptophytes, des géophytes et des thérophytes (Tableau 24, figure 35). Elles sont présentes principalement dans les prairies, sur les bords de routes, dans les fossés et quelquefois au sein des cultures. Nous qualifierons ces espèces comme des **espèces sauvages herbacées**.

Tableau 24. Familles et espèces sauvages (chamaephytes herbacées, hémicryptophytes, géophytes et thérophytes) identifiées au sein des deux aires de butinage pendant les deux années d'étude, 2011 et 2012 (Nom vernaculaire en annexe 4).

Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées
Asteraceae liguliflore	<i>Achillea millefolium</i>	Onagraceae	<i>Epilobium hirsutum</i>	Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp.
Rosaceae	<i>Agrimonia eupatoria</i>	Apiaceae	<i>Eryngium campestre</i>	Poaceae	<i>Poa annua</i>
Lamiaceae	<i>Ajuga reptans</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Eupatorium cannabinum</i>	Poaceae	<i>Poa pratensis</i>
Alismataceae	<i>Alisma plantago aquatica</i>	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia cf palustris</i>	Poaceae	<i>Poa</i> sp.
Brassicaceae	<i>Alliaria petiolata</i>	Fabaceae	Fabaceae	Poaceae	<i>Poa trivialis</i>
Poaceae	<i>Alopecurus pratensis</i>	Poaceae	<i>Festuca arundinacea</i>	Asparagaceae	<i>Polygonatum multiflorum</i>
Amaranthaceae	<i>Amaranthus bouchonii</i>	Poaceae	<i>Festuca pratensis</i>	Polygonaceae	<i>Polygonum aviculare</i>
Primulaceae	<i>Anagallis arvensis</i>	Papaveraceae	<i>Fumaria officinalis</i>	Rosaceae	<i>Potentilla montana</i>
Primulaceae	<i>Anagallis foemina</i>	Fabaceae	<i>Galega officinalis</i>	Rosaceae	<i>Potentilla reptans</i>
Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Rubiaceae	<i>Galium aparine</i>	Rosaceae	<i>Potentilla sterilis</i>
Apiaceae	<i>Anthriscus sylvestris</i>	Rubiaceae	<i>Galium mollugo</i>	Primulaceae	<i>Primula veris</i>
Brassicaceae	<i>Arabidopsis thaliana</i>	Rubiaceae	<i>Galium verum</i>	Primulaceae	<i>Primula vulgaris</i>
Brassicaceae	<i>Arabis caucasica</i>	Poaceae	<i>Gaudinia fragilis</i>	Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Arctium lappa</i>	Geraniaceae	<i>Geranium columbinum</i>	Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i>
Poaceae	<i>Arrhenaterum elatius</i>	Geraniaceae	<i>Geranium dissectum</i>	Asteraceae radiée	<i>Pulicaria dysenterica</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Artemisia vulgaris</i>	Geraniaceae	<i>Geranium</i> sp.	Ranunculaceae	<i>Ranunculus acris</i>
Araceae	<i>Arum italicum</i>	Rosaceae	<i>Geum urbanum</i>	Ranunculaceae	<i>Ranunculus bulbosus</i>
Poaceae	<i>Avena barbata</i>	Lamiaceae	<i>Glechoma hederaceae</i>	Ranunculaceae	<i>Ranunculus ficaria</i>
Asteraceae radiée	<i>Bellis perennis</i>	Apiaceae	<i>Heracleum sphondylium</i>	Ranunculaceae	<i>Ranunculus repens</i>
Poaceae	<i>Brachypodium pinnatum</i>	Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Ranunculaceae	<i>Ranunculus sardous</i>

Poaceae	<i>Bromus hordeaceus</i>	Poaceae	<i>Holcus mollis</i>	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i> sp.
Poaceae	<i>Bromus rigidus</i>	Poaceae	<i>Hordeum murinum</i>	Brassicaceae	<i>Rorippa amphibia</i>
Poaceae	<i>Bromus</i> sp.	Poaceae	<i>Hordeum secalinum</i>	Rubiaceae	<i>Rubia peregrina</i>
Poaceae	<i>Bromus sterilis</i>	Asparagaceae	<i>Hyacinthoides non-scripta</i>	Polygonaceae	<i>Rumex acetosa</i>
Cucurbitaceae	<i>Bryonia dioica</i>	Hypericaceae	<i>Hypericum perforatum</i>	Polygonaceae	<i>Rumex acetosella</i>
Convolvulaceae	<i>Calystegia sepium</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Hypochaeris radicata</i>	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>
Campanulaceae	<i>Campanula latifolia</i>	Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i>	Polygonaceae	<i>Rumex</i> sp.
Campanulaceae	<i>Campanula persicifolia</i> subsp. <i>sessiliflora</i>	Juncaceae	<i>Juncus effusus</i>	Asparagaceae	<i>Ruscus aculeatus</i>
Campanulaceae	<i>Campanula rapunculus</i>	Juncaceae	<i>Juncus</i> sp.	Adoxaceae	<i>Sambucus ebulus</i>
Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Caprifoliaceae	<i>Knautia arvensis</i>	Asteraceae radiée	<i>Senecio jacobaea</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Carduus crispus</i>	Lamiaceae	<i>Lamium</i> sp.	Caryophyllaceae	<i>Silene dioica</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Carduus</i> sp.	Asteraceae liguliflore	<i>Lapsana communis</i>	Caryophyllaceae	<i>Silene latifolia</i>
Cyperaceae	<i>Carex ovalis</i>	Fabaceae	<i>Lathyrus latifolius</i>	Caryophyllaceae	<i>Silene vulgaris</i>
Cyperaceae	<i>Carex pilulifera</i>	Fabaceae	<i>Lathyrus pratensis</i>	Solanaceae	<i>Solanum dulcamara</i>
Cyperaceae	<i>Carex pseudocyperus</i>	Asteraceae radiée	<i>Leucanthemum vulgare</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Sonchus oleraceus</i>
Cyperaceae	<i>Carex remota</i>	Plantaginaceae	<i>Linaria</i> sp.	Asteraceae liguliflore	<i>Sonchus</i> sp.
Cyperaceae	<i>Carex</i> sp.	Plantaginaceae	<i>Linaria vulgaris</i>	Sparganiaceae	<i>Sparganium erectum</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Centaurea jacea</i>	Fabaceae	<i>Lotus corniculatus</i>	Lamiaceae	<i>Stachys officinalis</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Centaurea</i> sp.	Fabaceae	<i>Lotus</i> sp.	Caryophyllaceae	<i>Stellaria graminea</i>
Caryophyllaceae	<i>Cerastium fontanum</i>	Caryophyllaceae	<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Caryophyllaceae	<i>Stellaria holostea</i>
Papaveraceae	<i>Chelidonium majus</i>	Lamiaceae	<i>Lycopus europaeus</i>	Caryophyllaceae	<i>Symphytum officinale</i>
Amaranthaceae	<i>Chenopodium album</i>	Primulaceae	<i>Lysimachia nummularia</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i>
Asteraceae liguliflore	<i>Cichorium intybus</i>	Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i>	Lamiaceae	<i>Teucrium scorodonia</i>
Onagraceae	<i>Circaea lutetiana</i>	Malvaceae	<i>Malva moschata</i>	Ranunculaceae	<i>Thalictrum flavum</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Cirsium arvense</i>	Malvaceae	<i>Malva sylvestris</i>	Apiaceae	<i>Tordylium</i> sp.
Asteraceae tubuliflore	<i>Cirsium</i> sp.	Asteraceae radiée	<i>Matricaria inodora</i>	Apiaceae	<i>Torilis arvensis</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Cirsium vulgare</i>	Asteraceae radiée	<i>Matricaria</i> sp.	Fabaceae	<i>Trifolium pratense</i>
Lamiaceae	<i>Clinopodium vulgare</i>	Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i>	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i>
Apiaceae	<i>Conopodium majus</i>	Lamiaceae	<i>Mentha aquatica</i>	Fabaceae	<i>Trifolium subterraneum</i>
Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>	Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i>	Crassulaceae	<i>Umbilicus rupestris</i>
Convolvulaceae	<i>Convolvulus</i> sp.	Lamiaceae	<i>Mentha</i> sp.	Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>
Brassicaceae	<i>Coronopus</i> sp.	Lamiaceae	<i>Mentha suaveolens</i>	Valerianaceae	<i>Valerianella locusta</i>
Asteraceae liguliflore	<i>Crepis biennis</i>	Euphorbiaceae	<i>Mercurialis annua</i>	Verbenaceae	<i>Verbena officinalis</i>
Asteraceae liguliflore	<i>Crepis capillaris</i>	Apiaceae	<i>Oenanthe crocata</i>	Plantaginaceae	<i>Veronica chamaedrys</i>
Asteraceae liguliflore	<i>Crepis vesicaria</i>	Orchidaceae	<i>Orchis mascula</i>	Fabaceae	<i>Vicia cracca</i>
Asteraceae tubuliflore	<i>Cyanus segetum</i>	Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i>	Fabaceae	<i>Vicia hirsuta</i>
Plantaginaceae	<i>Cymbalaria muralis</i>	Papaveraceae	<i>Papaver dubium</i>	Fabaceae	<i>Vicia sativa</i>
Poaceae	<i>Dactylis glomerata</i>	Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i>	Fabaceae	<i>Vicia sepium</i>
Apiaceae	<i>Daucus carota</i>	Papaveraceae	<i>Papaver</i> sp.	Fabaceae	<i>Vicia</i> sp.
Plantaginaceae	<i>Digitalis purpurea</i>	Apiaceae	<i>Pastinaca sativa</i>	Apocynaceae	<i>Vinca</i> sp.
Dioscoreaceae	<i>Dioscorea communis</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Picris echinoides</i>	Violaceae	<i>Viola hirta</i>
Caprifoliaceae	<i>Dipsacus fullonum</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Picris hieracioides</i>	Violaceae	<i>Viola</i> sp.
Dryopteridaceae	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Asteraceae liguliflore	<i>Picris</i> sp.	Poaceae	<i>Vulpia bromoides</i>
Boraginaceae	<i>Echium</i> sp.	Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i>		
Poaceae	<i>Elytrigia repens</i>	Plantaginaceae	<i>Plantago major</i>		

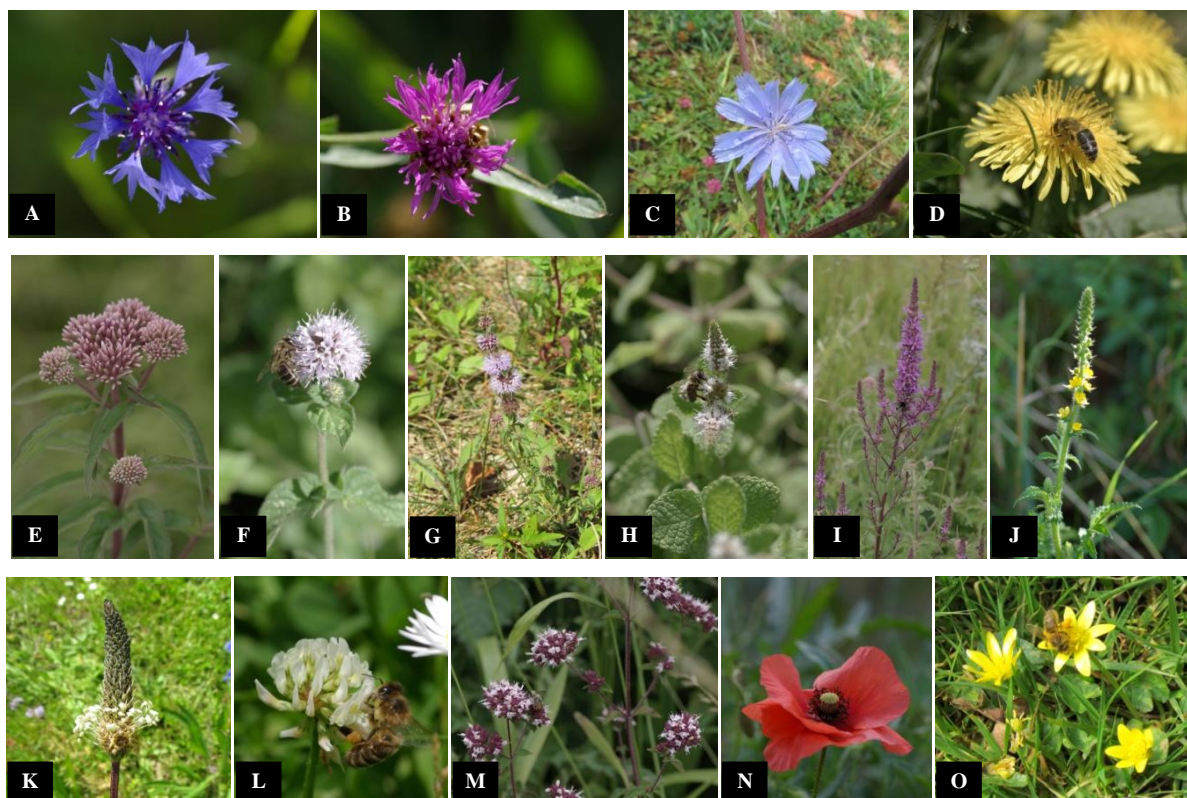


Figure 35. Illustrations de plantes sauvages herbacées présentes principalement dans les prairies, bords de routes et fossés et ponctuellement dans les cultures. A = *Centaurea cyanus*, B = *Centaurea jacea*, C = *Cichorium intybus*, D = *Taraxacum* sect. *Ruderalia*, E = *Eupatorium cannabinum*, F = *Mentha aquatica*, G = *Mentha pulegium*, H = *Mentha suaveolens*, I = *Lythrum salicaria*, J = *Agrimonia eupatoria*, K = *Plantago lanceolata*, L = *Trifolium repens*, M = *Origanum vulgare*, N = *Papaver rhoeas*, O = *Ranunculus ficaria* (photographies : Mélanie Piroux).

Différentes **cultures** ont été identifiées sur l'aire de butinage des deux ruchers en 2011 et en 2012 (**Tableau 25**).

Tableau 25. Familles et espèces cultivées identifiées au sein des deux aires de butinage pendant les deux années d'étude, 2011 et 2012 (Nom vernaculaire en annexe 4).

Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées
Pinaceae	<i>Abies</i> sp.	Fabaceae	<i>Onobrychis</i> sp.	Rosaceae	<i>Rubus idaeus</i>
Amaryllidaceae	<i>Allium</i> sp.	Boraginaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Poaceae	<i>Secale cereale</i>
Poaceae	<i>Avena sativa</i>	Fabaceae	<i>Phaseolus</i> sp.	Brassicaceae	<i>Sinapis alba</i>
Brassicaceae	<i>Brassica napus</i>	Fabaceae	<i>Pisum sativum</i>	Brassicaceae	<i>Sinapis arvensis</i>
Caryophyllaceae	<i>Dianthus</i> sp.	Rosaceae	<i>Prunus avium</i>	Brassicaceae	<i>Sinapis</i> sp.
Asteraceae radiée	<i>Helianthus annuus</i>	Rosaceae	<i>Prunus cerasifera</i>	Solanaceae	<i>Solanum tuberosum</i>
Poaceae	<i>Hordeum vulgare</i>	Rosaceae	<i>Prunus cerasifera pisardi</i>	Poaceae	<i>Sorghum bicolor</i>
Linaceae	<i>Linum</i> sp.	Rosaceae	<i>Prunus domestica</i>	Poaceae	<i>Triticum</i> sp.
Poaceae	<i>Lolium perenne</i>	Rosaceae	<i>Prunus</i> subg. <i>Cerasus</i> sp.	Fabaceae	<i>Vicia faba</i>
Rosaceae	<i>Malus pumila</i>	Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	Vitaceae	<i>Vitis</i> sp.
Rosaceae	<i>Malus</i> sp.	Grossulariaceae	<i>Ribes rubrum</i>	Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>	Grossulariaceae	<i>Ribes sanguineum</i>		

Les espèces cultivées peuvent être scindées en plusieurs groupes selon le type de culture :

- les **cultures de céréales** : l'Avoine cultivée (*Avena sativa*), l'Orge commun (*Hordeum vulgare*), les blés (*Triticum* spp.), le Seigle cultivé (*Secale cereale*), le Millet à balai (*Sorghum bicolor*), le Blé d'Inde ou maïs (*Zea mays*) (Figure 36) ;



Figure 36. Cultures céréalières : *Avena sativa* (A), *Zea mays* (B) et *Triticum* spp. (C et D) (photographies : Mélanie Piroux).

- les **cultures d'oléagineux** : le Colza d'hiver (*Brassica napus*), l'Hélianthe annuel ou tournesol (*Helianthus annuus*), la moutarde (*Sinapis* spp.) (Figure 37) ;



Figure 37. Cultures d'oléagineux : *Brassica napus* (à gauche), *Helianthus annuus* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

- les **cultures de protéagineux** : le Pois cultivé (*Pisum sativum*), la Féverole cultivée (*Vicia faba*), le haricot (*Phaseolus* spp.) (Figure 38) ;
- les **cultures fourragères** : le Ray-grass anglais (*Lolium perenne*), la Luzerne cultivée (*Medicago sativa*), le sainfoin (*Onobrychis* spp.), la Phacélie à feuilles de tanaïsie (*Phacelia tanacetifolia*) (Figure 38) ;



Figure 38. *Onobrychis* sp. (à gauche), cultures de féveroles, *Vicia faba* (au centre) et *Phacelia tanacetifolia* (à droite) (photographies : Mélanie Piroux).

- les **cultures permanentes** : les vergers de pommiers (*Malus* spp.), de cerisiers (*Cerasus* spp.), de pruniers cultivés (*Prunus domestica*), de poiriers communs (*Pyrus communis*) et les vignes (*Vitis* spp.) (Figure 39) ;



Figure 39. Cultures permanentes : A = verger de pommiers, B = fleurs de *Malus pumila*, C = fleurs de *Cerasus* sp. et D = fleurs de *Vitis vinifera* (photographies : Mélanie Piroux).

- le **maraîchage** : la culture porte-graine d'*Allium* sp., la culture de Pomme de terre (*Solanum tuberosum*) ;
- **autres cultures** : l'œillet (*Dianthus* sp.) (Figure 40), le lin (*Linum* sp.), la Ronce du mont Ida ou le framboisier (*Rubus idaeus*), ...



Figure 40. Culture porte-graine d'œillets (photographies : Mélanie Piroux).

Les **espèces ornementales**, identifiées dans des espaces verts publics et privés, sont plus nombreuses au sein de l'aire de butinage du rucher ML. Cependant la liste des espèces n'est pas exhaustive en raison de la difficulté d'inventorier les espaces privés (Tableau 26, figure 41). Le caractère ornemental des espèces est à mettre en relation avec le contexte géographique et agricole des sites étudiés. L'exemple de la lavande illustre ce propos par le fait qu'elle est présente comme ornement en Pays de la Loire alors que dans certaines régions du sud de la France, elle est cultivée.

Tableau 26. Familles et espèces ornementales identifiées au sein des deux aires de butinage pendant les deux années d'étude, 2011 et 2012 (Nom vernaculaire en annexe 4).

Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées	Familles identifiées	Espèces identifiées
Sapindaceae	<i>Aesculus pavia</i>	Papaveraceae	<i>Escholtzia californica</i>	Hydrangeaceae	<i>Philadelphus coronarius</i>
Malvaceae	<i>Alcea rosea</i>	Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp.	Hydrangeaceae	<i>Philadelphus</i> sp.
Betulaceae	<i>Alnus cordata</i>	Oleaceae	<i>Forsythia</i> sp.	Rosaceae	<i>Photinia</i> sp.
Alstroemeriaceae	<i>Alstroemeria</i> sp.	Oleaceae	<i>Forsythia x intermedia</i>	Rosaceae	<i>Prunus laurocerasus</i>
Ericaceae	<i>Arbutus unedo</i>	Oleaceae	<i>Fraxinus ornus</i>	Rosaceae	<i>Prunus lusitanica</i>
Berberidaceae	<i>Berberis darwinii</i>	Scrophulariaceae	<i>Hebe</i> sp.	Rosaceae	<i>Prunus serrulata</i>
Saxifragaceae	<i>Bergenia cordifolia</i>	Saxifragaceae	<i>Heuchera sanguinea</i>	Pinaceae	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
Betulaceae	<i>Betula pendula</i>	Malvaceae	<i>Hibiscus syriacus</i>	Anacardiaceae	<i>Rhus typhina</i>
Scrophulariaceae	<i>Buddleja davidii</i>	Hypericaceae	<i>Hypericum "hidcote"</i>	Fabaceae	<i>Robinia hispida</i>
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i>	Brassicaceae	<i>Iberis sempervirens</i>	Taxodiaceae	<i>Sequoia</i> sp.
Bignoniaceae	<i>Campsis radicans</i>	Rosaceae	<i>Kerria japonica</i>	Asteraceae radiée	<i>Solidago virgaurea</i>
Pinaceae	<i>Cedrus atlantica</i>	Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i>	Rosaceae	<i>Sorbus aucuparia</i>
Pinaceae	<i>Cedrus</i> sp.	Lamiaceae	<i>Lavandula</i> sp.	Fabaceae	<i>Spartium junceum</i>
Fabaceae	<i>Cercis siliquastrum</i>	Caprifoliaceae	<i>Lonicera japonica</i>	Rosaceae	<i>Spiraea japonica</i>
Rutaceae	<i>Choisya ternata</i>	Caprifoliaceae	<i>Lonicera nitida</i>	Rosaceae	<i>Spiraea</i> sp.
Rosaceae	<i>Cotoneaster franchetti</i>	Fabaceae	<i>Lupinus polyphylus</i>	Oleaceae	<i>Syringa vulgaris</i>
Rosaceae	<i>Cotoneaster horizontalis</i>	Magnoliaceae	<i>Magnolia</i> sp.	Tamaricaceae	<i>Tamarix africana</i>
Rosaceae	<i>Cotoneaster lactea</i>	Berberidaceae	<i>Mahonia</i> sp.	Cupressaceae	<i>Thuja</i> sp.
Rosaceae	<i>Cotoneaster</i> sp.	Fabaceae	<i>Mimosa</i> sp.	Arecaceae	<i>Trachycarpus exelsa</i>
Rosaceae	<i>Cydonia japonica</i>	Asparagaceae	<i>Muscari botryoides</i>	Adoxaceae	<i>Viburnum opulus</i>
Fumariaceae	<i>Dicentra spectabilis</i>	Asparagaceae	<i>Muscari comosum</i>	Adoxaceae	<i>Viburnum rhytidophyllum</i>
Hydrangeaceae	<i>Deutzia scabra</i>	Lamiaceae	<i>Nepeta mussinii</i>	Adoxaceae	<i>Viburnum tinus</i>
Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus x ebbingei</i>	Apocynaceae	<i>Nerium oleander</i>	Caprifoliaceae	<i>Weigela</i> sp.
Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus</i> sp.	Oleaceae	<i>Osmanthus</i> sp.	Fabaceae	<i>Wisteria sinensis</i>
Ericaceae	<i>Erica</i> sp.	Vitaceae	<i>Parthenocissus</i> sp.	Fabaceae	<i>Wisteria</i> sp.
Escalloniaceae	<i>Escallonia</i> sp.	Lamiaceae	<i>Perovskia atriplicifolia</i>	Araceae	<i>Zantedeschia aethiopica</i>

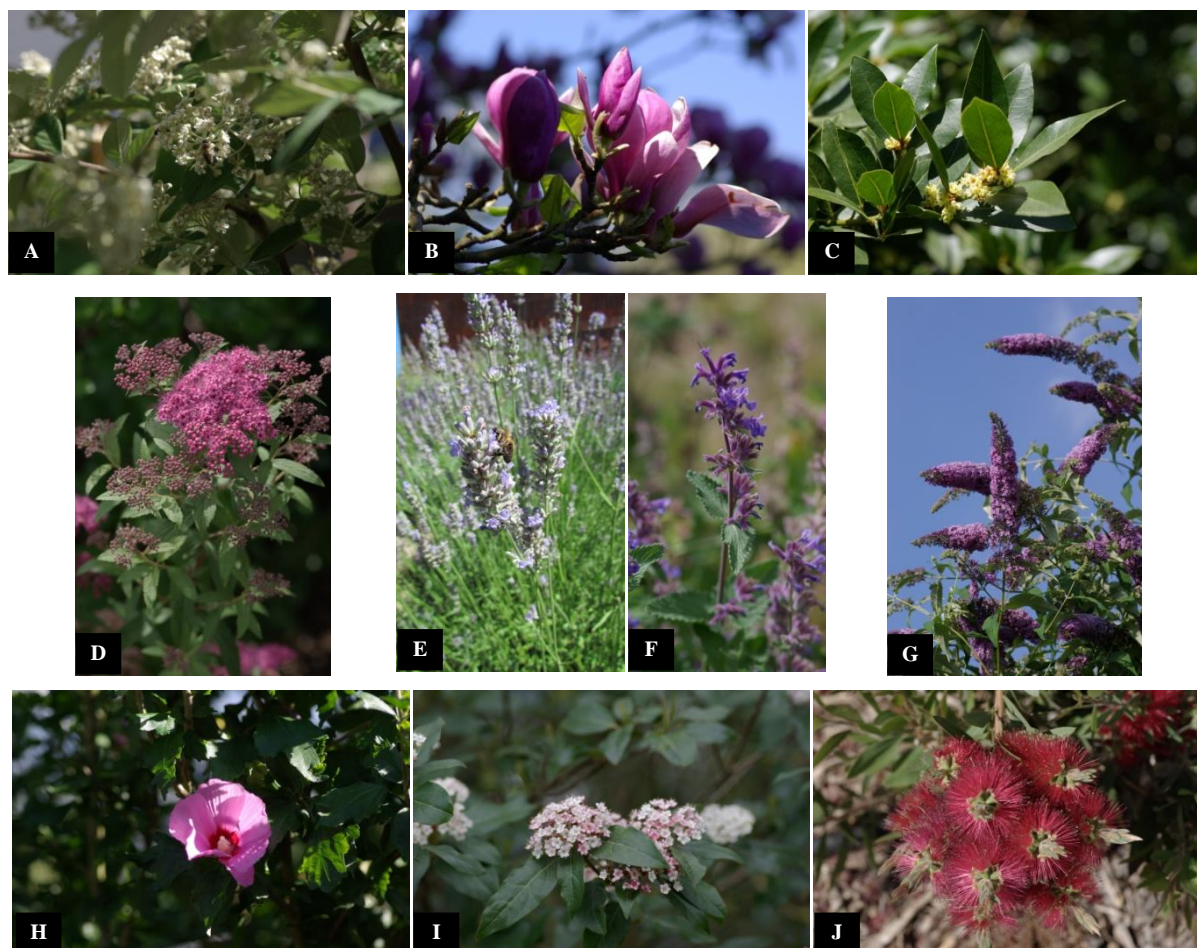


Figure 41. Exemples de plantes ornementales. A = *Cotoneaster* sp., B = *Magnolia* sp., C = *Laurus nobilis*, D = *Spiraea japonica*, E = *Lavandula* sp., F = *Nepeta mussinii*, G = *Buddleja davidii*, H = *Hibiscus syriacus*, I = *Viburnum tinus*, J = *Callistemon citrinus* (photographies : Mélanie Piroux).

III.1.2.a. Familles botaniques identifiées

Le **nombre de familles botaniques**, soit la **richesse**, semble plus important au sein de l'aire de butinage du rucher ML (**Tableau 27**). En effet, le nombre de familles en fleurs, présentes tout au long des saisons, est significativement plus important pour le rucher ML, toutes années confondues (test de Mann-Whitney, $W = 550,5$; $p\text{-value} = 0,0048$). Par ailleurs, le nombre de familles en fleurs est plus important en 2011 qu'en 2012 (tous ruchers confondus) (test de Wilcoxon, $V = 205$; $p\text{-value} = 0,00092$).

Tableau 27. Nombre de familles identifiées pour chaque aire de butinage en 2011 et 2012.

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Nombre de familles identifiées	67	66	57	53

La **diversité des familles végétales** (H_s) apparaît plus importante pour le rucher ML que pour le rucher V alors que la diversité théorique (H_{th}) est semblable (**Tableau 28**). L'indice d'équitabilité (E) est faible pour l'aire de butinage des deux ruchers et indique un peuplement végétal contrasté, c'est-à-dire que l'abondance variable de chaque espèce compose un ensemble hétérogène. Ce contraste semble plus prononcé pour le rucher V.

Tableau 28. Indices écologiques des deux aires de butinage en 2011 et 2012 : diversité (indice de Shannon, H_s), diversité théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E).

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Indice de Shannon H_s	1,49	1,4	0,96	0,91
Indice de Shannon théorique H_{th}	4,20	4,19	4,04	3,97
Équitabilité E	0,35	0,33	0,24	0,23

En effet, la diversité des familles végétales en fleurs, au cours des saisons, est plus importante pour le rucher ML que pour le rucher V (toutes années confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 596$; $p\text{-value} = 0,00042$). Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de différence de diversité des familles fleuries entre 2011 et 2012 (tous ruchers confondus) (test de Wilcoxon, $V = 202$; $p\text{-value} = 0,05334$) (**Tableau 29**).

Tableau 29. Diversité des familles végétales en fleurs (indice de Shannon, H_s), diversité théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E) tout au long de l'année 2011 et 2012 pour les aires de butinage des ruchers ML et V.

		Rucher ML			Rucher V		
		H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E
2011	Fin avril	1,84	3,61	0,51	2,3	3,50	0,66
	Début mai	1,8	3,89	0,46	0,99	3,76	0,26
	Fin mai	1,8	3,93	0,46	0,99	3,76	0,26
	Début juin	1,52	3,89	0,39	1,02	3,78	0,27
	Fin juin	1,05	3,91	0,27	1,02	3,78	0,27
	Début juillet	0,91	3,83	0,24	0,57	3,66	0,16
	Fin juillet	0,91	3,81	0,24	0,57	3,66	0,16
	Début août	0,93	3,69	0,25	0,69	3,37	0,20
	Fin août	0,93	3,69	0,25	0,64	3,37	0,19
	Début septembre	1,76	3,47	0,51	1,41	3,30	0,43
	Fin septembre	1,76	3,50	0,50	1,41	3,30	0,43
	Octobre	1,23	2,83	0,43	1,14	2,71	0,42
	Novembre	0,68	2,08	0,33	0,12	1,95	0,06
2012	Janvier	-	-	-	0,77	1,39	0,56
	Février	0,74	1,95	0,38	0,3	2,08	0,14
	Mars	1,44	3,04	0,47	0,72	2,89	0,25
	Début avril	1,72	3,53	0,49	0,91	3,37	0,27
	Fin avril	1,74	3,53	0,49	0,96	3,40	0,28
	Début mai	1,42	3,89	0,36	1,04	3,64	0,29
	Fin mai	1,42	3,89	0,36	1,05	3,66	0,29
	Début juin	1,17	3,91	0,30	1,03	3,64	0,28
	Fin juin	1,18	3,95	0,30	1,03	3,66	0,28
	Début juillet	0,83	3,78	0,22	0,52	3,53	0,15
	Fin juillet	0,77	3,78	0,20	0,52	3,53	0,15
	Début août	1,02	3,64	0,28	0,65	3,33	0,20
	Fin août	1,02	3,64	0,28	0,65	3,33	0,20
	Début septembre	0,98	3,47	0,28	0,57	3,22	0,18
	Fin septembre	1,72	3,47	0,50	1,38	3,22	0,43
	Octobre	1,25	3,00	0,42	-	-	-

La diversité des familles (H_s) en fleurs est faible en hiver et durant les mois de juillet et août. La faible diversité du début d'année (H_s) est cohérente avec la diversité théorique (H_{th}). En revanche, pour les mois de juillet et août, la diversité (H_s) est faible alors que la diversité théorique (H_{th}) est semblable aux mois précédents et aux mois suivants, où la diversité (H_s) est plus importante (Tableau 29). Tout au long des deux années d'étude, l'équitabilité (E) est globalement faible ($E < 0,50$) ce qui traduit un peuplement végétal contrasté. En effet, certaines familles en fleurs occupent de larges surfaces alors que d'autres occupent des

surfaces réduites au sein de l'aire de butinage. L'équitabilité est ponctuellement plus importante, pour le rucher ML (avril et septembre 2011, fin septembre 2012) et pour le rucher V (avril 2011, janvier 2012), ce qui indique un contraste moins marqué au niveau du peuplement végétal et une meilleure homogénéité des familles en fleurs.

Les **familles les plus présentes** au sein de l'aire de butinage du rucher ML, en 2011 et 2012, sont les Poaceae, les Rosaceae, les Asteraceae, les Brassicaceae, les Fabaceae et les Fagaceae. Dans l'aire de butinage du rucher V, il s'agit des Poaceae, des Fabaceae, des Asteraceae, des Fagaceae, des Salicaceae et des Betulaceae.

III.1.2.b. Espèces végétales identifiées

Indices écologiques

L'aire de butinage du rucher ML est le site où le **nombre d'espèces végétales** identifiées est le plus important et cela principalement en lien avec le nombre d'espèces ornementales qui est supérieur à celui de l'aire de butinage du rucher V, que ce soit en 2011 ou en 2012 (**Tableau 30**).

Tableau 30. Nombre d'espèces identifiées pour chaque aire de butinage et chaque année.

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Nombre d'espèces identifiées	242	238	194	167
<i>Espèces sauvages (Phanérophytes et chamaephytes frutescents+chamaephytes herbacées, hémicryptophytes, géophytes et thérophytes)</i>	43+113	42+106	39+110	38+108
<i>Espèces cultivées</i>	20	22	20	13
<i>Espèces ornementales</i>	66	68	25	8

Les espèces sauvages sont les plus représentées (en nombre) dans les deux aires de butinage sur les deux années, en dépit d'une diminution de ce nombre entre 2011 et 2012 pour le rucher ML. On observe également une diminution de la richesse spécifique pour le rucher V pour les espèces cultivées et ornementales principalement.

La phénologie des plantes et les conditions climatiques conditionnent le **nombre d'espèces** en fleurs qui varie **au cours de la saison** (**Figure 42**).

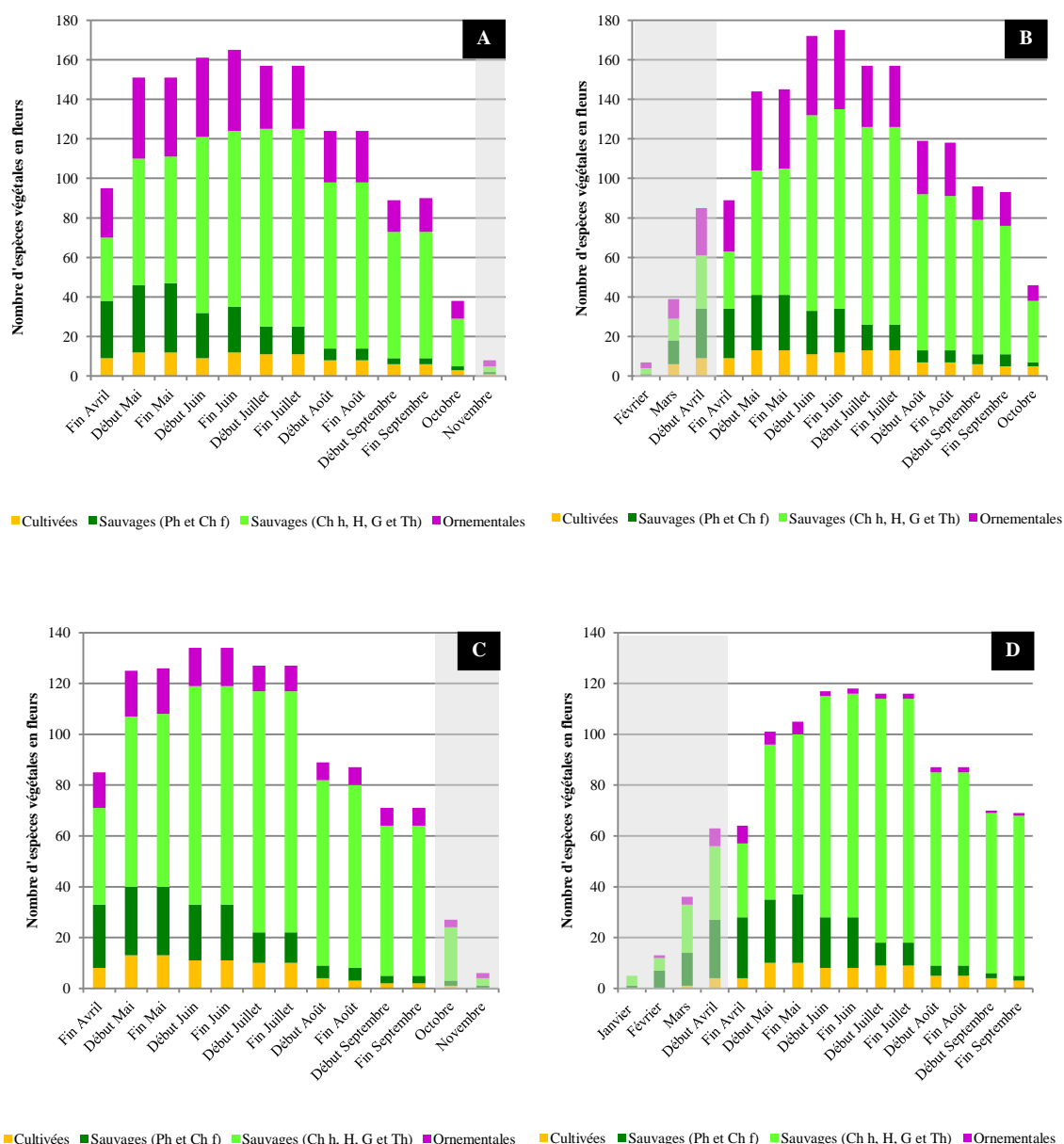


Figure 42. Représentations du nombre d'espèces végétales en fleurs au sein de l'aire de butinage des ruchers ML et V au cours des saisons apicoles 2011 et 2012, A = ML en 2011, B = ML en 2012, C = V en 2011, D = V en 2012 (Ph = phanérophyste, Ch f = chamaephyte frutescent, Ch h = chamaephyte herbacée, H = hémicryptophyte, G = géophyte, Th = thérophyste).

La richesse des espèces végétales en fleurs est significativement plus importante pour le rucher ML que pour le rucher V (années 2011 et 2012 confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 513,5$; $p\text{-value} = 0,0051$). De même la richesse des fleurs est plus importante en 2011 qu'en 2012 (ruchers ML et V confondus) (test de Wilcoxon, $V = 211,5$; $p\text{-value} = 0,013$).

Malgré ces différences de richesse entre les deux aires de butinage et d'une année sur l'autre, l'évolution du nombre d'espèces en fleur est semblable sur les deux sites pendant les deux années d'étude. A partir du mois de janvier, le nombre d'espèces en fleurs augmente jusqu'à un maximum en juin, puis il diminue. En hiver (janvier à mars), peu d'espèces sont en

fleurs. Parmi les espèces cultivées il s'agit exclusivement des fruitiers (*Prunus* spp., *Malus* spp., *Cerasus* spp.). Au printemps (avril à juin), les espèces sauvages ligneuses et les espèces ornementales fleurissent de même qu'un nombre important d'espèces sauvages herbacées. Le nombre d'espèces cultivées en fleurs atteint également son maximum à cette période de l'année. En été (juillet à septembre), le nombre d'espèces sauvages ligneuses, d'espèces ornementales et d'espèces cultivées en fleurs diminue alors que les espèces sauvages herbacées en fleurs sont encore nombreuses. En automne (octobre à décembre), le nombre d'espèces fleuries est faible et ce sont les espèces sauvages fleuries herbacées qui sont dominantes.

La **diversité spécifique végétale** (H_s) du rucher ML est moyenne et comparable à celle du rucher V par rapport à l'indice de diversité théorique (H_{th}). L'indice d'équitabilité (E) montre, pour les deux ruchers sur les deux années d'étude, une répartition hétérogène des espèces (Tableau 31).

Tableau 31. Indices écologiques des deux aires de butinage en 2011 et 2012 : diversité (indice de Shannon, H_s), diversité théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E).

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Indice de Shannon H_s	2,41	2,25	2,03	1,91
Indice de Shannon théorique H_{th}	5,51	5,48	5,25	5,12
Équitabilité E	0,43	0,41	0,39	0,37

Aucune différence significative de la diversité des espèces végétales en fleurs n'a pu être mise en évidence entre les deux aires de butinage (test de Mann-Whitney, $W = 451$; $p\text{-value} = 0,222$). Cependant, la diversité des espèces fleuries est plus importante en 2011 qu'en 2012, tous ruchers confondus (test de Wilcoxon, $V = 270$; $p\text{-value} = 3,096.10^{-5}$).

La diversité d'espèces végétales en fleurs varie également au cours de l'année (Tableau 32), comme c'est le cas pour la richesse spécifique. Cette diversité augmente jusqu'au printemps, où elle est la plus importante, puis diminue progressivement jusqu'à la fin de l'année. L'équitabilité évolue globalement dans le même sens : en avril les espèces fleuries sont réparties de façon plutôt homogène (sauf pour le rucher V en 2012) présentant un indice E supérieur à 0,50 alors qu'en fin d'année (septembre, octobre, novembre), la répartition des espèces fleuries est plus contrastée, et son indice E est proche de 0,20.

Tableau 32. Diversité des espèces végétales en fleurs (indice de Shannon, H_s), diversité théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E) tout au long de l'année 2011 et 2012 pour les aires de butinage des ruchers ML et V.

		Rucher ML			Rucher V		
		H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E
2011	Fin avril	2,54	4,54	0,56	2,57	4,42	0,58
	Début mai	2,37	5,02	0,47	1,89	4,84	0,39
	Fin mai	2,37	5,02	0,47	1,89	4,84	0,39
	Début juin	2,19	5,09	0,43	1,98	4,92	0,40
	Fin juin	2,00	5,11	0,39	1,98	4,92	0,40
	Début juillet	1,78	5,06	0,35	1,72	4,85	0,35
	Fin juillet	1,78	5,06	0,35	1,72	4,85	0,35
	Début août	1,36	4,82	0,28	1,29	4,50	0,29
	Fin août	1,36	4,82	0,28	1,23	4,48	0,27
	Début septembre	1,17	4,49	0,26	1,22	4,29	0,28
	Fin septembre	1,17	4,50	0,26	1,22	4,29	0,28
	Octobre	0,80	3,64	0,22	0,95	3,37	0,28
	Novembre	0,68	2,08	0,33	0,71	1,95	0,36
2012	Janvier	–	–	–	0,78	1,61	0,48
	Février	0,79	1,95	0,41	0,33	2,56	0,13
	Mars	1,67	3,66	0,46	0,77	3,58	0,21
	Début avril	2,31	4,43	0,52	1,02	4,13	0,25
	Fin avril	2,33	4,48	0,52	1,07	4,14	0,26
	Début mai	1,86	4,97	0,37	1,79	4,62	0,39
	Fin mai	1,86	4,98	0,37	1,79	4,65	0,38
	Début juin	1,71	5,15	0,33	1,78	4,77	0,37
	Fin juin	1,72	5,17	0,33	1,78	4,78	0,37
	Début juillet	1,61	5,06	0,32	1,52	4,75	0,32
	Fin juillet	1,58	5,06	0,31	1,52	4,75	0,32
	Début août	1,3	4,78	0,27	1,02	4,47	0,23
	Fin août	1,3	4,77	0,27	1,02	4,47	0,23
	Début septembre	1,19	4,56	0,26	0,92	4,25	0,22
	Fin septembre	1,21	4,54	0,27	0,92	4,25	0,22
	Octobre	0,86	3,85	0,22	–	–	–

Les indices de richesse et de diversité spécifique permettent de connaître le nombre d'espèces végétales ainsi que leur abondance, les unes par rapport aux autres. Cependant, ces indices ne permettent pas de connaître la proportion de ces ressources au sein de l'aire de butinage. Ainsi, le recouvrement des différentes catégories d'espèces végétales a été calculé pour connaître, au cours de l'année, les surfaces fleuries, des différents groupes d'espèces végétales, disponibles pour les abeilles.

Surfaces fleuries au sein de l'aire de butinage

Les surfaces fleuries au sein de l'aire de butinage ont également évolué au cours de l'année (Figure 43).

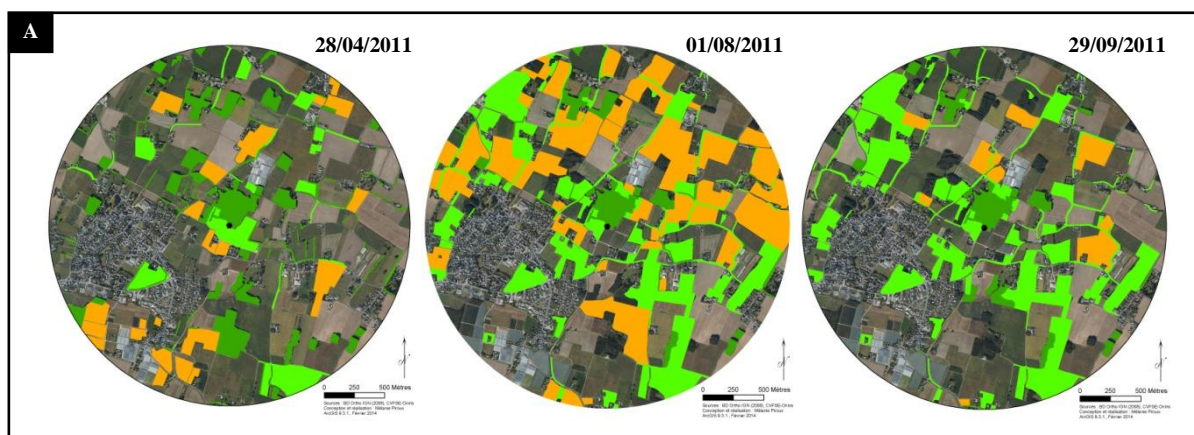


Figure 43. Représentations du pourcentage de surfaces fleuries au sein de l'aire de butinage des ruchers ML et V tout au long des saisons apicoles 2011 et 2012, A = ML en 2011, B = ML en 2012, C = V en 2011, D = V en 2012 (Ph = phanérophyte, Ch f = chamaephyte frutescent, Ch h = chamaephyte herbacée, H = hémicryptophyte, G = géophyte, Th = thérophyte).

Les nombres d'espèces fleuries des deux aires de butinage étudiées sont proches (Figure 42), en revanche le pourcentage de surfaces fleuries est différent en fonction du rucher (Figure 43).

Sur le site du Maine-et-Loire (Figures 43A, 43B, 44A et 44B), les cultures fleuries représentent plus de 30 % de la surface fleurie de l'aire de butinage de mars à août avec une surface maximale en été. Les espèces sauvages ligneuses représentent une surface fleurie importante (plus de 30 %) pour les mois de mars et avril. Celle-ci va ensuite fortement diminuer pendant l'été pour croître à nouveau et atteindre une surface de 10 à 20 % durant les mois de septembre et d'octobre. Les espèces sauvages herbacées fleuries sont présentes tout au long de la saison apicole et représentent une surface plus importante (jusqu'à 90 % de la surface fleurie de l'aire de butinage) pour les mois de février, septembre, octobre et novembre. Les surfaces ornementales fleuries apparaissent de façon anecdotique.

Sur le site de Vendée (Figures 43C, 43D, 44C et 44D), les surfaces cultivées fleuries apparaissent en avril (environ 10 % de la surface fleurie totale), dominant à partir du mois de mai et atteignent leur maximum durant l'été (90 %). En début d'année, de janvier à avril, les espèces fleuries sont majoritairement sauvages avec une dominance des espèces ligneuses (plus de 40 % de la surface fleurie de l'aire de butinage). La surface fleurie de ces dernières va diminuer à partir du mois de mai et ne représentera qu'une petite surface à partir du mois de juillet. Les espèces sauvages herbacées représentent environ 30 % de la surface fleurie en avril, septembre et octobre 2011 ainsi qu'en début d'année 2012 (février à avril). Ces espèces fleuries dominent en novembre 2011 et en janvier 2012, mais atteignent à peine les 10 % sur le reste de l'année (mai à août).



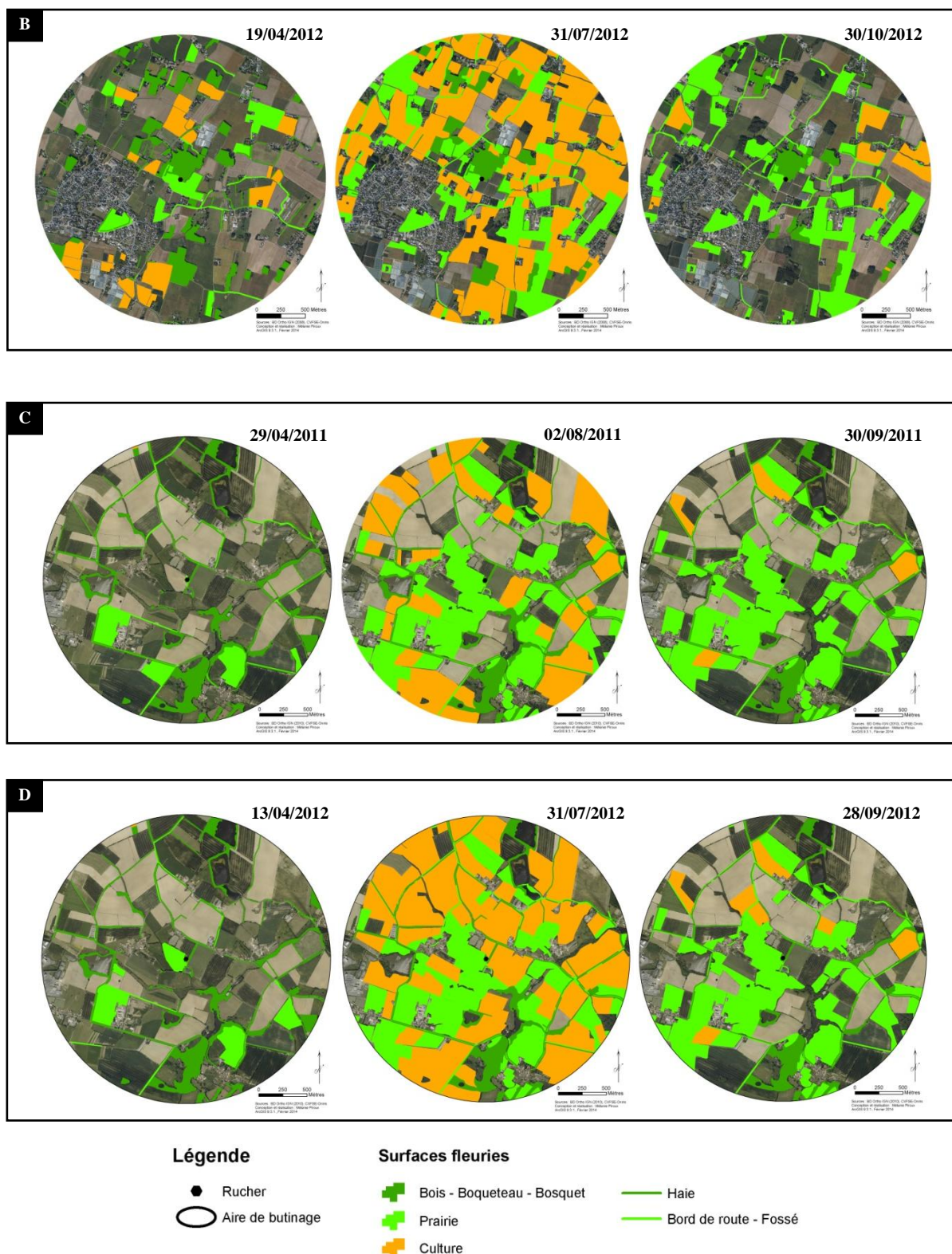


Figure 44. Cartes des espaces fleuris des aires de butinage : A = ML en 2011, B = ML en 2012, C = V en 2011 et D = V en 2012 (Sources : BD Ortho[®] IGN, CVFSE-Oniris ; conception et réalisation : Mélanie Piroux ; février 2014 ; ArcGIS 9.3.1).

Ces données surfaciques apportent des précisions sur la proportion des ressources floristiques disponibles pour l'abeille en fonction des types de végétaux, au cours des deux années étudiées. Pour savoir si les espèces végétales fleuries sont comparables, d'un point de vue qualitatif ou quantitatif, d'une année sur l'autre et entre les deux aires de butinage étudiées, une analyse multivariée a été réalisée.

Analyse multivariée des ressources disponibles pour l'abeille au sein des aires de butinage des deux ruchers, en 2011 et 2012

Une Analyse en Composante Principale (ACP) a été réalisée sur l'ensemble des espèces végétales en fleurs dans les deux aires de butinage en 2011 et 2012. Le premier plan factoriel (Figure 45) explique une inertie totale de 40,99 %, avec un premier axe comptant pour 26,64 % et un deuxième comptant pour 14,35 %. Bien que l'inertie totale soit assez faible pour une ACP, l'analyse est cohérente avec nos précédents résultats et nous permet de dégager plusieurs points :

i/ la qualité et la quantité des espèces présentes d'une année sur l'autre sont semblables, c'est-à-dire que les espèces identifiées et quantifiées à un temps T, l'année N+1 sont similaires à celles identifiées et quantifiées au même temps T de l'année N ;

ii/ les relevés botaniques du site V s'opposent aux relevés botaniques du site ML sur le 1^{er} axe du plan factoriel de l'ACP (Figure 45, Dim 1). L'aire de butinage du rucher V est caractérisée par des espèces sauvages herbacées identifiées principalement dans les prairies telles que *Plantago lanceolata*, *Poa annua*, *Lotus* sp., *Capsella bursa-pastoris*, *Festuca pratensis*, *Ranunculus bulbosus*, mais également par des espèces cultivées comme *Vitis vinifera* ou *Phaseolus* sp.. L'aire de butinage du rucher ML est caractérisée par des espèces ornementales telles que *Arbutus unedo*, *Callistemon citrinus*, *Alstroemeria* sp., *Tamarix africana*, *Rhus typhina* ou encore *Escallonia* sp. ;

iii/ sur le 2^{ème} axe du plan factoriel de l'ACP (Figure 45, Dim 2), en coordonnées positives sont présentes des espèces sauvages ligneuses, telles que *Laurus nobilis*, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Acer campestre* qui s'opposent, en coordonnées négatives, à des espèces sauvages herbacées telles que *Rumex crispus*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa* mais également à des espèces cultivées comme *Zea mays* ou *Helianthus annuus*. Cette opposition d'espèces fleuries révèle un gradient phénologique des espèces végétales inventoriées. Les mois de janvier, février, juin, octobre et novembre sont

des périodes pour lesquelles cette ACP ne nous permet pas de mettre en évidence des regroupements d'espèces végétales en fleurs.

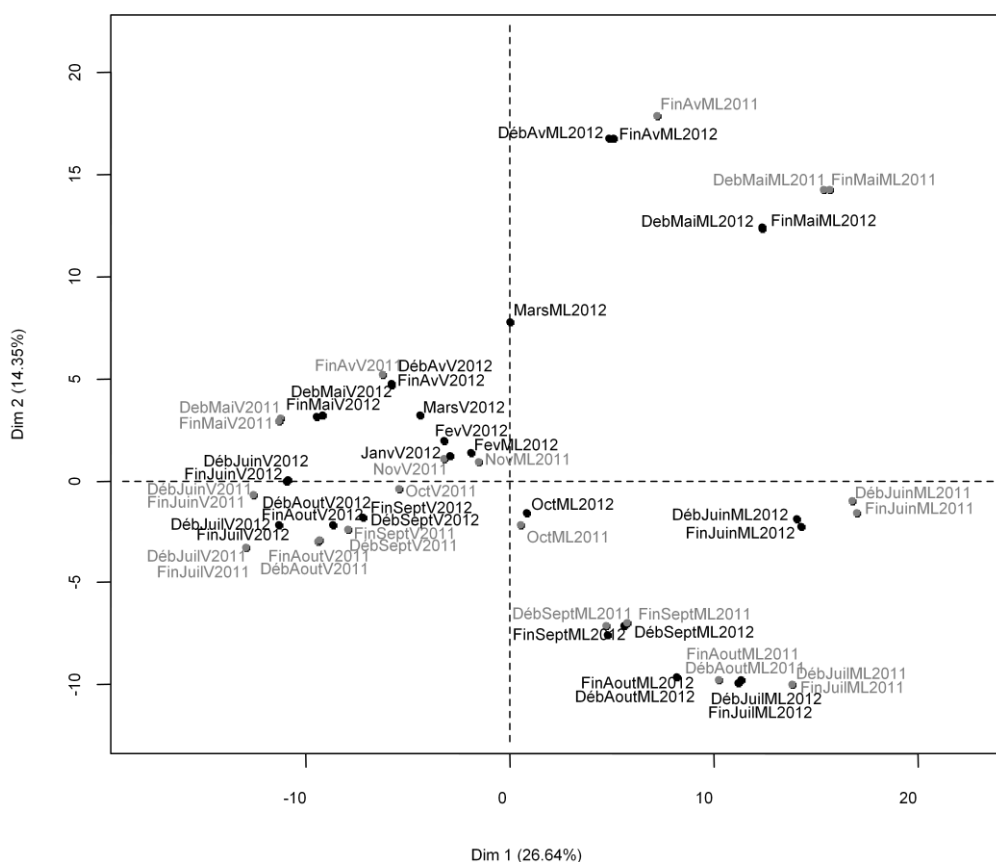


Figure 45. Carte factorielle de l'Analyse en Composante Principale sur les inventaires botaniques des espèces en fleurs à différentes périodes de l'année 2011 et 2012 pour l'aire de butinage des ruchers ML et V (Chaque individu est identifié par la période suivie de l'identifiant du rucher et de l'année, par exemple « Début avril 2011 sur le rucher ML » devient « DébAvML2011 »).

L'analyse multivariée des espèces végétales en fleurs recensées au sein de chaque aire de butinage, permet dans un premier temps de faire un rapprochement des données de 2011 avec celles de 2012 à des dates semblables, et ainsi de mettre en évidence une similarité des ressources au sein de chaque site, durant les deux années d'études. Dans un deuxième temps, cette analyse nous permet de dissocier les deux aires de butinage grâce à leurs compositions floristiques alors même que les deux ruchers sont situés en paysage de grande culture d'une même région (situés à moins de 100 km l'un de l'autre à vol d'oiseau). Enfin, l'ACP permet une répartition des inventaires botaniques sur un gradient phénologique en fonction des espèces présentes en fleurs au cours des saisons et de l'année.

Les données d'**occupation du sol** et les **inventaires botaniques** apportent des informations sur les ressources floristiques disponibles pour l'abeille dans deux paysages de grande culture au sein d'une même région du nord-ouest de la France.

L'**aire de butinage** de chacun des deux ruchers est dominée par des surfaces en cultures dont une majorité de céréales alors que les surfaces naturelles et semi-naturelles, les prairies et les zones boisées, sont moins étendues. Les surfaces urbaines présentes dans les deux aires de butinage varient du simple au triple. La structure du paysage est différente d'un site à l'autre : une aire de butinage présente une surface moyenne de parcelle faible et peu de haies, et l'autre aire de butinage dispose d'un linéaire de haie plus important et d'une surface parcellaire moyenne plus étendue.

Les **indices écologiques**, calculés sur les familles ou sur les espèces végétales, mettent en évidence i/ une richesse floristique plus importante pour le rucher ML que pour le rucher V et plus importante en 2011 qu'en 2012, ii/ une diversité des familles végétales plus importante pour le rucher ML, mais une diversité spécifique comparable entre les deux aires de butinage, et iii/ une équitabilité faible à moyenne qui traduit une abondance hétérogène des espèces en fleurs et donc un peuplement végétal contrasté. Cette absence d'homogénéité des ressources floristiques est facilement compréhensible si l'on compare le nombre d'espèces présentes dans les différentes catégories de végétaux et les surfaces fleuries correspondantes.

Enfin, l'**Analyse en Composante Principale** décrit i/ la concordance des inventaires réalisés entre 2011 et 2012, ii/ la différence des ressources floristiques disponibles entre les deux aires de butinage et iii/ la notion de phénologie des espèces inventoriées au sein des aires de butinage.

III.2. Fleurs butinées par les abeilles des colonies ML et V étudiées : ressources exploitées

Des échantillons de pelotes de pollen et de miels ont été récoltés sur l'ensemble des colonies des deux ruchers en 2011 et en 2012. Les pelotes de pollen ont été récoltées sur dix colonies par rucher sur les planchers des ruches. Le miel a été échantillonné sur deux colonies par rucher de sorte que le miel soit le plus nouveau possible et lors des récoltes de miel. Des analyses palynologiques ont ensuite été réalisées sur l'ensemble des échantillons (pelotes de pollen et miels) afin de connaître les ressources pollinifères et mellifères visitées et exploitées par l'abeille.

III.2.1. Validation de la méthode d'échantillonnage

Afin de valider la méthode d'échantillonnage de pollen sur les planchers des ruches, trois sessions de prélèvements sur quatre colonies ont été mises en place sur un troisième rucher (rucher G). Pour chaque session et pour chaque colonie, un prélèvement de pelotes de pollen sur le plancher de la ruche, suivi d'un prélèvement de pelotes au niveau d'une trappe à pollen a été réalisé. Au total ce sont 12 échantillons de pollen de plancher qui ont pu être comparés à 12 échantillons de pollen de trappe.

Un test de Wilcoxon, réalisé pour chaque taxon pollinique sur l'ensemble des paires d'échantillons (pelotes de pollen de plancher et pelotes de pollen de trappe de la même colonie à un même temps T) ne montre pas de différence significative sur la fréquence d'apparition des taxons polliniques dans les pelotes de pollen issues des trappes à pollen et dans celles issues des planchers (Annexe 5).

L'Analyse Factorielle Multiple (AFM) a permis d'analyser le lien entre les échantillons de pelotes de pollen de plancher et ceux de trappe pour une même colonie au même temps T. Le 1^{er} plan factoriel totalise 31,81 % de l'inertie totale de l'analyse. La carte factorielle (Figure 46) indique une proximité des individus partiels, correspondant d'une part aux échantillons de pelotes provenant du plancher et d'autre part aux échantillons de pollen provenant de la trappe, pour une même colonie à un temps T. Les coordonnées de liaison du groupe pollen de plancher et du groupe pollen de trappe sont élevées et très proches que ce soit sur le 1^{er} axe (respectivement 0,935 et 0,937) ou sur le 2^{ème} (respectivement 0,765 et 0,652), ce qui montre une liaison forte des deux groupes sur les deux premières dimensions de l'analyse. Le coefficient de corrélation est élevé et montre une structure commune aux deux groupes de données (pollen de trappe et pollen de plancher) ($RV = 0,74$) qui est significative ($p\text{-value} = 0,0005$).

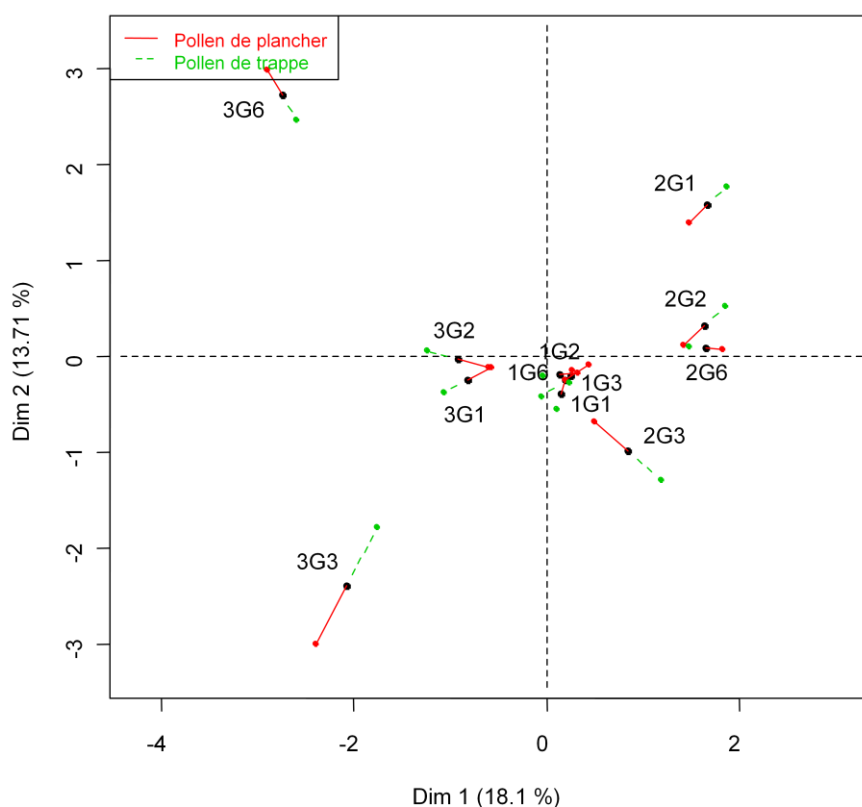


Figure 46. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle Multiple sur des échantillons de pelotes de pollen (identifiés par le numéro de session de prélèvement, la lettre du rucher, G et le numéro de colonie). **Représentation des individus moyens et des individus partiels** (respectivement noirs et verts ou rouges).

Il est important toutefois de noter que certaines espèces identifiées dans les échantillons de pelotes de pollen récoltés au niveau du plancher n'ont pas été retrouvées dans les échantillons de pelotes de pollen issues des trappes à pollen pour une même colonie à un même instant T. L'inverse est également vrai.

Ainsi, les méthodologies basées sur le prélèvement de pelotes de pollen de trappe et sur celui de pelotes de pollen de plancher ne paraissent pas rigoureusement commutables. Cependant, la forte concordance des taxons polliniques obtenus entre les deux échantillonnages, réalisés dans le cadre de notre protocole de validation, permet d'envisager une analyse des résultats palynologiques de l'ensemble de l'étude tant du point de vue qualitatif que du point de vue des proportions des différents pollens rapportés à la colonie. Il sera néanmoins important de prendre en compte le paramètre « échantillonnage » dans l'analyse de nos résultats.

III.2.2. Flore pollinifère visitée par les abeilles

En 2011 et 2012, 464 échantillons de pelotes de pollen ont été collectés et ont été analysés. Au total, 73 familles et 153 taxons polliniques ont été identifiés (**Tableau 33**), du mois d'avril au mois de novembre 2011 et du mois de février au mois d'octobre 2012.

Tableau 33. Taxons polliniques identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen en 2011 et 2012 pour les ruchers ML et V.

<i>Acer</i>	Convolvulaceae	<i>Juglans</i>	<i>Ribes</i>	type <i>Mahonia</i>
<i>Aesculus</i>	<i>Convolvulus</i>	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Robinia</i>	type <i>Menyanthes trifoliata</i>
<i>Ailanthus</i>	<i>Cornus</i>	Lamiaceae	Rosaceae	type <i>Nuphar</i>
<i>Allium</i>	<i>Corylus</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Rumex</i>	type <i>Ornithogalum</i>
<i>Alnus</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	Liliaceae	<i>Salix</i>	type <i>Phyteuma</i>
<i>Ambrosia</i>	Cupressaceae	<i>Linum</i>	<i>Sambucus</i>	type <i>Potamogeton</i>
Apiaceae	Cyperaceae	<i>Lonicera</i>	<i>Sanguisorba</i>	type <i>Potentilla</i>
<i>Artemisia</i>	<i>Datura</i>	Lythraceae	<i>Scabiosa</i>	type <i>Prunus</i>
Asteraceae liguliflores	<i>Echium</i>	<i>Lythrum</i>	Scrophulariaceae	type <i>Ranunculus ficaria</i>
Asteraceae tubuliflores	<i>Elaeagnus</i>	Malvaceae	<i>Silene</i>	type <i>Raphanus</i>
<i>Berberis</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Solanum</i>	type <i>Rhus</i>
<i>Betula</i>	Ericaceae	<i>Oenothera</i>	<i>Symphytum</i>	type <i>Rubus</i>
<i>Borago officinalis</i>	Euphorbiaceae	<i>Olea</i>	<i>Teucrium</i>	type <i>Ruta</i>
<i>Brassica napus</i>	Fabaceae	<i>Onobrychis</i>	<i>Thalictrum</i>	type <i>Solidago</i>
Brassicaceae	<i>Fagopyrum</i>	Papaveraceae	<i>Tilia</i>	type <i>Sorbus</i>
<i>Buddleja</i>	<i>Fagus</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Tropaeolum</i>	type <i>Taraxacum</i>
<i>Buxus</i>	<i>Filipendula</i>	<i>Persicaria</i>	type <i>Biscutella</i>	type <i>Tofieldia</i>
<i>Calystegia</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Phacelia</i>	type <i>Calluna vulgaris</i>	type <i>Trifolium</i>
<i>Campanula</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Picea</i>	type <i>Cirsium</i>	type <i>Veronica</i>
Campanulaceae	<i>Fumaria</i>	<i>Pinus</i>	type <i>Crataegus</i>	<i>Typha</i>
Cannabaceae	<i>Galium</i>	<i>Plantago</i>	type <i>Dioscorea communis</i>	<i>Ulmus</i>
<i>Carpinus</i>	<i>Genista</i>	Poaceae	type <i>Diplotaxis</i>	Urticaceae
Caryophyllaceae	<i>Gentiana</i>	<i>Polygonum</i>	type <i>Fragaria</i>	<i>Verbascum</i>
<i>Castanea</i>	<i>Geranium</i>	<i>Polygonum type persicaria</i>	type <i>Galega</i>	<i>Verbena</i>
<i>Catalpa</i>	<i>Hedera</i>	<i>Populus</i>	type <i>Genista</i>	<i>Viburnum</i>
<i>Centaurea</i>	<i>Helianthemum</i>	<i>Pyracantha</i>	type <i>Helleborus</i>	<i>Viola</i>
<i>Cephalaria</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Quercus</i>	type <i>Hypericum</i>	<i>Viscum album</i>
Céréales	<i>Ilex</i>	Ranunculaceae	type <i>Ipomea</i>	<i>Vitis</i>
Chenopodiaceae	<i>Impatiens</i>	<i>Reseda</i>	type <i>Iris</i>	<i>Zea mays</i>
<i>Cistus</i>	Indéterminé	<i>Rhamnus</i>	type <i>Liriodendron</i>	
<i>Clematis</i>	Iridaceae	<i>Rhus</i>	type <i>Lotus</i>	

III.2.2.a. Familles polliniques identifiées dans les pelotes de pollen

Le **nombre de familles polliniques** identifiées dans l'ensemble des échantillons de pelotes de pollen, à l'échelle du rucher, semble équivalent entre le rucher ML et V, en 2011 et en 2012 (Tableau 34).

Tableau 34. Nombre de familles polliniques identifiées dans l'ensemble des échantillons de pelotes de pollen en fonction du rucher et de l'année.

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Nombre de familles identifiées	57	58	55	56

En revanche, le nombre de familles polliniques identifiées pour chaque colonie du rucher ML est significativement supérieur à celui des colonies du rucher V (années 2011 et 2012 confondues) (test de Mann-Whitney, $V = 317,5$; $p\text{-value} = 0,00017$). Cependant, ce nombre de familles polliniques ne semble pas différer entre 2011 et 2012 (tous ruchers confondus) (test de Wilcoxon, $W = 128$; $p\text{-value} = 0,067$), ni entre les colonies locales (ML et V) et les colonies d'Ouessant (MLO et VO) (Test de Mann-Whitney, $W = 153$; $p\text{-value} = 0,30$) (Tableau 35).

Tableau 35. Nombre de familles polliniques identifiées pour chaque colonie de chaque rucher en 2011 et 2012.

Colonies du rucher ML	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
Nombre de familles polliniques identifiées en 2011	38	33	39	41	37	39	43	45	42	43
Nombre de familles polliniques identifiées en 2012	37	37	43	35	35	33	34	41	41	33
Colonies du rucher V	V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5	VO6
Nombre de familles polliniques identifiées en 2011	32	35	37	30	31	34	34	37	36	37
Nombre de familles polliniques identifiées en 2012	39	34	30	33	30	32	31	32	36	—

La **diversité des familles polliniques** des colonies du rucher ML est également supérieure à la diversité des familles polliniques des colonies du rucher V (toutes années confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 318,5$; $p\text{-value} = 0,00014$). La diversité des familles polliniques des colonies en 2011 ne semble pas être différente de celle de 2012 (rucher ML et V confondus) (test de Wilcoxon, $V = 129$; $p\text{-value} = 0,18$) tout comme la diversité des familles ne semble pas différer entre les colonies locales (ML et V) et les colonies d'Ouessant (MLO et VO) (test de Mann-Whitney, $W = 148$; $p\text{-value} = 0,24$) (Tableau 36).

Tableau 36. Diversité des familles polliniques (indice de Shannon, H_s), diversité des familles polliniques théorique (indice de Sahnnon théorique, H_{th}) et équitabilité (E) de chaque colonie en 2011 et en 2012.

Colonies du rucher ML	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
H_s 2011	2,5	2,26	2,8	2,56	2,39	2,45	2,72	2,58	2,48	2,6
H_{th} 2011	3,64	3,50	3,66	3,71	3,61	3,66	3,76	3,81	3,74	3,76
E 2011	0,69	0,65	0,76	0,69	0,66	0,67	0,72	0,68	0,66	0,69
H_s 2012	2,22	2,66	2,7	2,43	2,42	2,09	2,41	2,61	2,62	2,46
H_{th} 2012	3,61	3,61	3,76	3,56	3,56	3,50	3,53	3,71	3,71	3,50
E 2012	0,61	0,74	0,72	0,68	0,68	0,60	0,68	0,70	0,71	0,70
Colonies du rucher V	V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5	VO6
H_s 2011	2,24	2,25	2,36	2,24	2,11	2,17	2,5	2,33	2,55	2,42
H_{th} 2011	3,47	3,56	3,61	3,40	3,43	3,53	3,53	3,61	3,58	3,61
E 2011	0,65	0,63	0,65	0,66	0,61	0,62	0,71	0,65	0,71	0,67
H_s 2012	2,27	2,32	1,97	2,3	2,18	2,29	2,18	2,26	2,29	—
H_{th} 2012	3,66	3,53	3,40	3,50	3,40	3,47	3,43	3,47	3,58	—
E 2012	0,62	0,66	0,58	0,66	0,64	0,66	0,63	0,65	0,64	—

La diversité des familles polliniques (H_s) est importante par rapport à la diversité théorique (H_{th}) au sein de chaque colonie, du rucher ML et du rucher V, en 2011 et en 2012. L'indice d'équitabilité (E) est élevé (min = 0,58 et max = 0,76) et montre une relative homogénéité de la récolte des pollens par les abeilles, à l'échelle des familles végétales (Tableau 36).

Les **familles les plus représentées** dans les échantillons de pelotes de pollen, toutes années confondues, sont :

- dans le rucher ML : les Fagaceae, les Rosaceae, les Brassicaceae, les Asteraceae et les Fabaceae,
- dans le rucher de Vendée : les Fagaceae, les Fabaceae, les Brassicaceae, les Asteraceae et les Rosaceae.

Certaines familles polliniques ont été identifiées seulement sur un des deux ruchers : les Geraniaceae ont été identifiées uniquement dans les pollens des colonies du rucher ML alors que les abeilles du rucher V ont butiné des Cannabaceae et des Violaceae.

Certaines familles, comme les Tofieldiaceae, ont été butinées uniquement par les colonies locales des deux ruchers.

En comparant les familles polliniques (qualité et proportion) récoltées par les abeilles de nos colonies deux à deux, grâce à l'**indice de similarité de Bray-Curtis**, des rapprochements de colonies peuvent être effectués. La construction d'un dendrogramme à partir de ces indices

permet une visualisation plus claire de la similarité, ou non, des colonies entre elles en fonction de l'année d'étude (Figure 47).

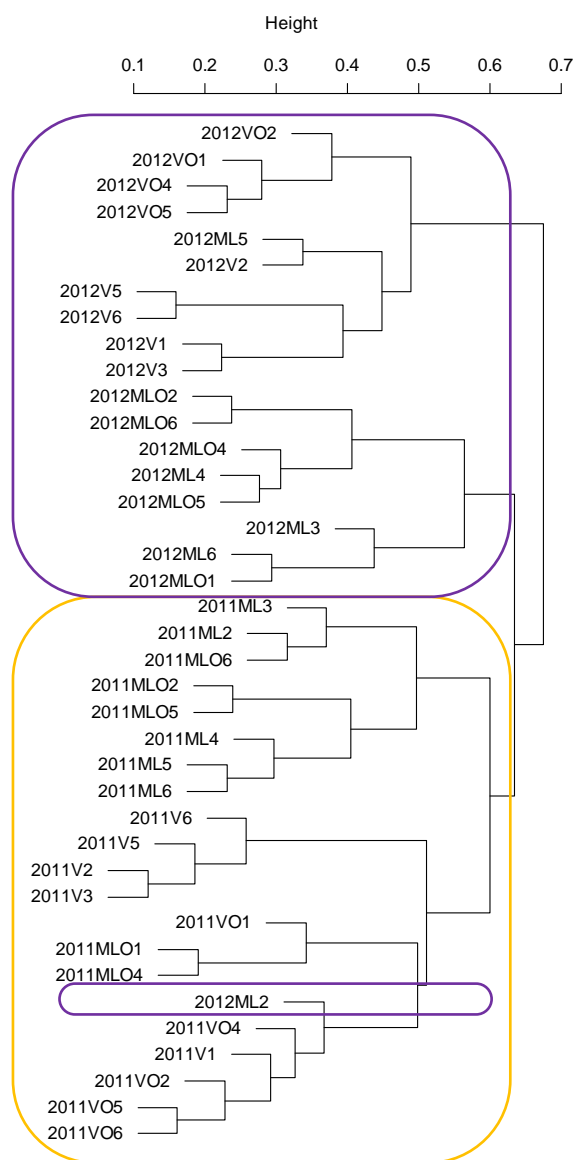


Figure 47. Dendrogramme construit sur la base des indices de similarité Bray-Curtis, eux-mêmes calculés à partir des données palynologiques (familles polliniques) des colonies étudiées sur l'ensemble des ruchers, en 2011 et 2012.

Les indices de similarité permettent de regrouper l'ensemble des colonies par année d'étude, même si les familles polliniques de la colonie ML2 butinées en 2012 sont comparables à celles récoltées en 2011. En revanche, le regroupement des colonies par rucher ou par type de colonie est moins net. Par exemple, la qualité et la quantité des familles botaniques de la colonie V2 en 2012 sont plus proches de la colonie ML5 que de la colonie V5 ou V6 la même année. De même en 2012, la colonie ML6 est plus proche de la colonie MLO1 de par ses caractéristiques polliniques que de la colonie ML3.

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée à partir des données palynologiques (familles polliniques) des différents échantillons de pelotes de pollen prélevés au sein des deux ruchers, en 2011 et en 2012. Le premier plan factoriel explique 12,87 % avec un premier axe comptant pour 7,058 % et un deuxième axe comptant pour 5,812 % (Annexe 5). L'inertie totale est faible, et cela en lien avec la présence de familles polliniques seulement dans quelques échantillons de pelotes de pollen. Malgré une inertie faible, sur le 1^{er} axe du plan factoriel de l'AFC (Annexe 5A, Dim 1), une opposition se dessine entre des familles de plantes ligneuses telles que les Ulmaceae, Betulaceae, Buxaceae, Salicaceae, Sapindaceae (coordonnées positives) et des familles de plantes herbacées telles que les Hypericaceae, les Chenopodiaceae, les Convolvulaceae, les Euphorbiaceae, les Gentianaceae (coordonnées négatives). Les échantillons associés sont respectivement des pelotes prélevées en début d'année (janvier à mars) et des pelotes récoltées le reste de l'année (avril à novembre). Cette opposition semblerait mettre en évidence une récolte de pollen d'espèces ligneuses en tout début de saison apicole et d'espèces herbacées par la suite. L'interprétation du 2^{ème} axe du plan factoriel de l'AFC n'a pas permis de mettre en évidence de facteurs discriminants sur la répartition des échantillons.

La Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) réalisée dans la continuité de l'AFC a permis de grouper les échantillons de pollen en fonction des familles polliniques (Annexe 5B) et d'appuyer l'interprétation faite ci-dessus. Deux groupes se distinguent (Annexe 5B, clusters 6 et 7) et sont composés d'échantillons de pelotes de pollen prélevés de janvier à mars sur l'ensemble des deux ruchers.

III.2.2.b. Taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen

Indices écologiques

Contrairement au nombre de familles identifiées dans les pelotes qui est similaire pour les deux ruchers et pour les deux années d'études, le **nombre de taxons polliniques** butinés par l'abeille semble être plus important pour le rucher ML que pour le rucher V et sensiblement plus important en 2012 qu'en 2011 (Tableau 37).

Tableau 37. Nombre de taxons polliniques identifiés dans l'ensemble des échantillons de pelotes de pollen en fonction du rucher et de l'année.

Rucher	ML en 2011	ML en 2012	V en 2011	V en 2012
Nombre de taxons polliniques identifiés	111	114	91	99

La richesse pollinique des colonies du rucher ML est significativement plus importante que celle des colonies du rucher V (années 2011 et 2012 confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 320,5$; $p\text{-value} = 0,00013$) (**Tableau 38**). Cependant, les tests statistiques n'ont pas permis de mettre en évidence de différence significative entre le nombre de taxons polliniques de 2011 et de 2012 (tous ruchers confondus) (test de Wilcoxon, $V = 102,5$; $p\text{-value} = 0,2267$), et entre les colonies locales et les colonies d'Ouessant, tous ruchers confondus (test de Mann-Whitney, $W = 163,5$; $p\text{-value} = 0,4641$).

Tableau 38. Nombre de taxons polliniques identifiés pour chaque colonie de chaque rucher en 2011 et 2012.

Colonies du rucher ML	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
Nombre de taxons polliniques identifiés en 2011	62	56	64	71	58	63	69	74	65	75
Nombre de taxons polliniques identifiés en 2012	57	56	77	56	58	49	53	57	73	52
Colonies du rucher V	V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5	VO6
Nombre de taxons polliniques identifiés en 2011	48	51	54	44	46	53	53	57	60	56
Nombre de taxons polliniques identifiés en 2012	61	56	49	55	48	57	50	48	55	—

La richesse pollinique des échantillons de pelotes de pollen varie au cours de la saison apicole, en fonction de chaque colonie, en « intra-rucher » (au sein d'un même rucher) comme en « extra-rucher » (entre deux ruchers) et d'une année sur l'autre (**Figures 48, 49, 50**).

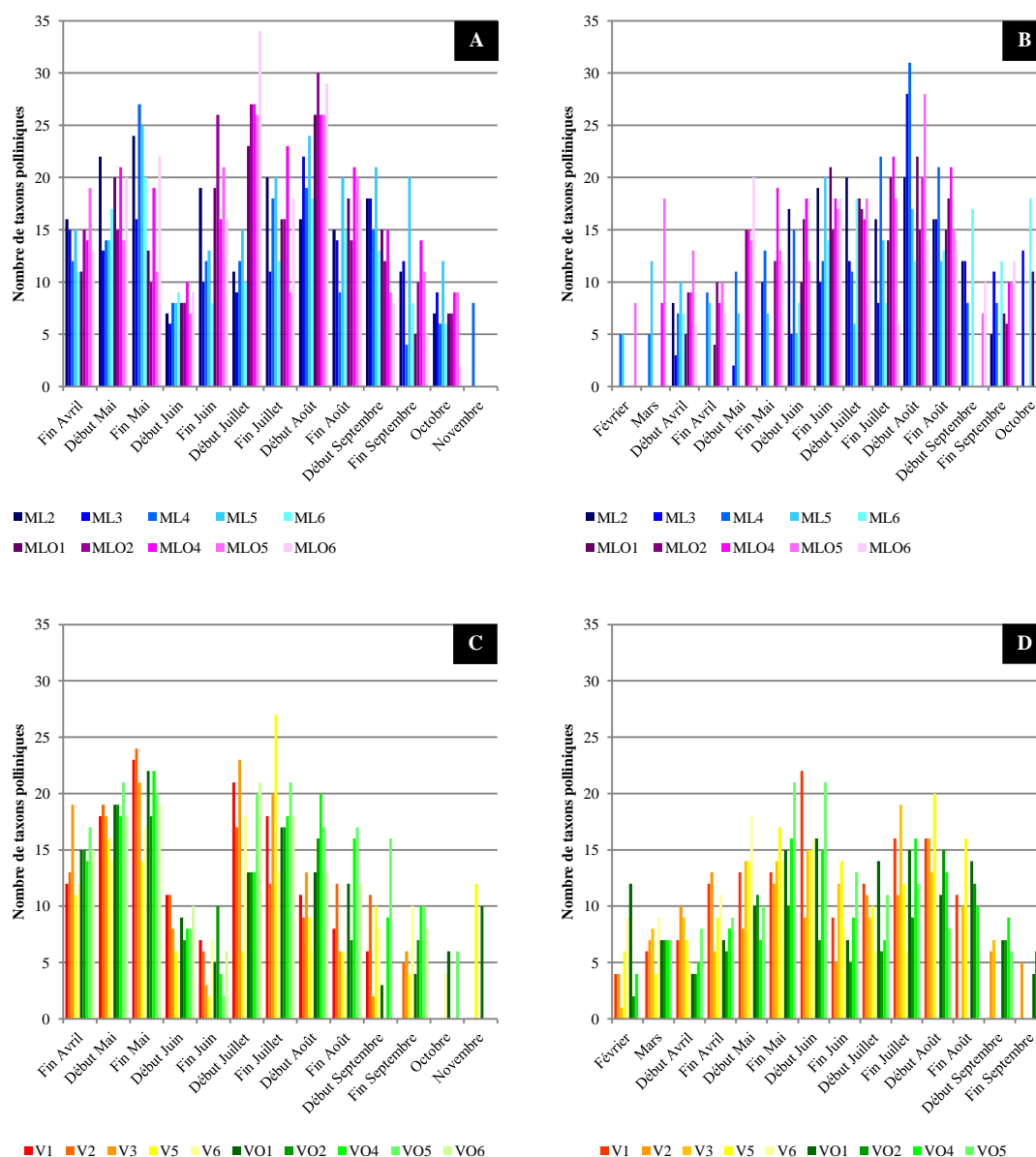


Figure 48. Nombre de taxons polliniques identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen de chaque colonie au cours des saisons apicoles 2011 et 2012, A = ML en 2011, B = ML en 2012, C = V en 2011 et D = V en 2012.

De façon générale, le nombre de taxons augmente en début de saison apicole jusqu'à atteindre un maximum en été (juillet – août) puis diminue. En 2011, le nombre de taxons polliniques au mois de juin est faible. Ce constat semble se reproduire, de façon moins prononcée, en 2012 pour le rucher V.

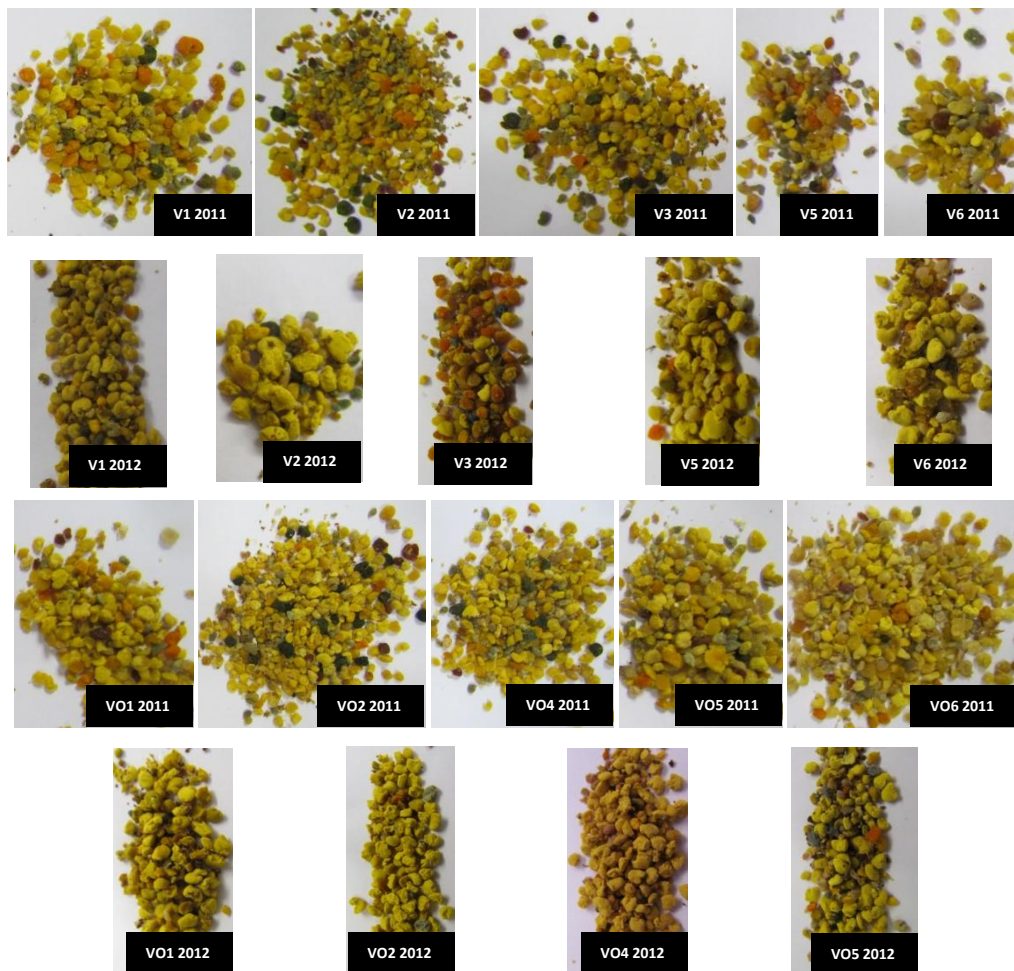


Figure 49. Echantillons de pelotes de pollen prélevés les 31 mai 2011 et 2012 sur l'ensemble des colonies (locales et Ouessant) du rucher de Vendée.

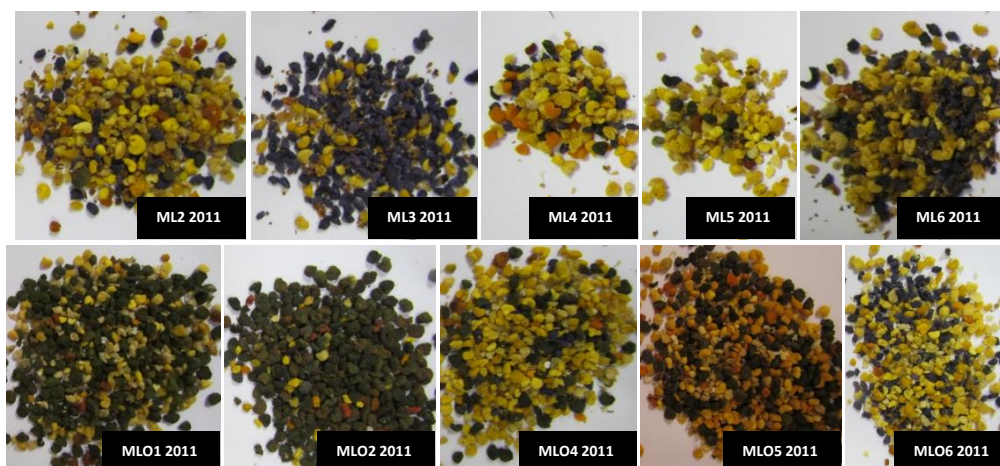


Figure 50. Echantillons de pelotes de pollen prélevés le 31 mai 2011 sur l'ensemble des colonies (locales et Ouessant) du rucher du Maine-et-Loire.

La **diversité pollinique**, tout comme la richesse pollinique, est variable en fonction des colonies et de la saison apicole (2011 ou 2012) (**Tableau 39**).

Tableau 39. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s), diversité pollinique théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E) de chaque colonie en 2011 et en 2012.

Colonies du rucher ML	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
H_s 2011	2,92	2,65	3,24	3,05	2,77	2,99	3,05	2,97	2,71	2,92
H_{th} 2011	4,13	4,03	4,16	4,26	4,06	4,14	4,23	4,30	4,17	4,32
E 2011	0,71	0,66	0,78	0,72	0,68	0,72	0,72	0,69	0,65	0,68
H_s 2012	2,51	3,00	3,22	2,75	2,52	2,37	2,87	3,03	3,03	2,82
H_{th} 2012	4,04	4,03	4,34	4,03	4,06	3,89	3,97	4,04	4,29	3,95
E 2012	0,62	0,75	0,74	0,68	0,62	0,61	0,72	0,75	0,71	0,71
Colonies du rucher V	V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5	VO6
H_s 2011	2,80	2,73	2,72	2,61	2,55	2,65	2,85	2,89	3,00	2,81
H_{th} 2011	3,87	3,93	3,99	3,78	3,83	3,97	3,97	4,04	4,09	4,03
E 2011	0,72	0,69	0,68	0,69	0,67	0,67	0,72	0,71	0,73	0,70
H_s 2012	2,61	2,71	2,26	2,72	2,61	2,59	2,45	2,67	2,63	–
H_{th} 2012	4,11	4,03	3,89	4,01	3,87	4,04	3,91	3,87	4,01	–
E 2012	0,63	0,67	0,58	0,68	0,67	0,64	0,63	0,69	0,66	–

La diversité pollinique (H_s) des colonies est importante, que ce soit au sein du rucher ML ou du rucher V, en 2011 ou en 2012 en comparaison avec la diversité théorique (H_{th}). La diversité pollinique (H_s) varie entre un minimum de 2,26 (colonie V3 en 2012) et un maximum de 3,24 (colonie ML4 en 2011). Les colonies qui présentent les diversités polliniques les plus faibles appartiennent au rucher V alors que les colonies qui présentent les diversités polliniques les plus importantes sont celles du rucher ML. La diversité pollinique est significativement plus importante dans le rucher ML que dans le rucher V (années 2011 et 2012 confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 289,5$; p -value = 0,0054). Elle est également plus importante en 2011 qu'en 2012, tous ruchers confondus (test de Wilcoxon, $V = 148,5$; p -value = 0,01645). Par ailleurs, il n'y a pas de différence significative de la diversité pollinique entre les colonies locales et les colonies d'Ouessant (ruchers ML et V confondus) (test de Mann-Whitney, $W = 152,5$; p -value = 0,2983).

De même, la diversité pollinique varie, pour chaque colonie, au cours de la saison apicole et en fonction de l'année d'étude (Annexes 7 et 8).

Au sein des ruchers ML et V, la diversité pollinique évolue différemment selon l'année considérée (2011 *versus* 2012). Des pics de diversité sont observés en mai et durant l'été alors qu'au mois de juin, une forte baisse de diversité est constatée.

En 2012, les courbes d'évolution de la diversité diffèrent davantage qu'en 2011, mais la diversité s'affaiblit en juin pour l'ensemble des colonies étudiées.

L'indice d'équitabilité varie de la même façon que l'indice de diversité, ainsi plus la diversité est importante plus la composition pollinique des pelotes est homogène.

Le calcul de l'**indice de similarité de Bray-Curtis** sur la base des données palynologiques (taxons polliniques, qualité et quantité) permet d'évaluer les similarités entre colonies en fonction de l'année d'étude (**Figure 51**).

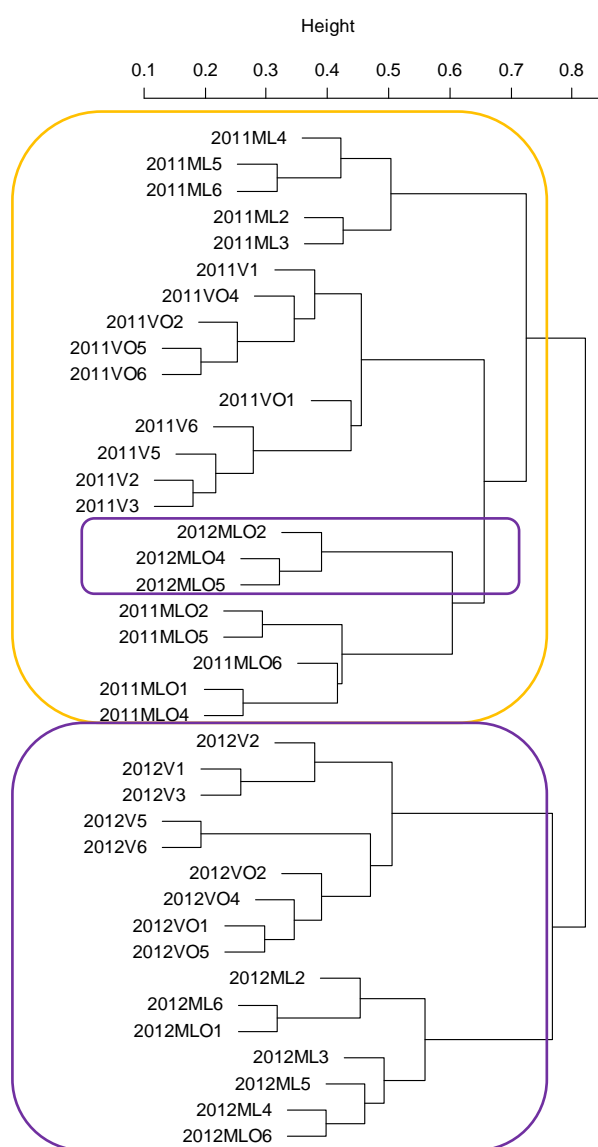


Figure 51. Dendrogramme construit sur la base des indices de similarités Bray-Curtis, eux-mêmes calculés à partir des données palynologiques (taxons polliniques) des colonies étudiées sur l'ensemble des ruchers, en 2011 et 2012.

Les indices de similarité permettent de regrouper l'ensemble des colonies par année d'étude, à l'exception des colonies MLO2, MLO4 et MLO5 en 2012, qui présentent un profil palynologique plus proche de ces mêmes colonies en 2011 que des autres colonies du même rucher en 2012. Le regroupement des colonies par rucher ou par origine géographique est plus complexe :

- en 2011, le regroupement par rucher est visible pour les colonies du rucher V cependant à l'intérieur de ce groupe on ne dissocie pas les colonies locales et les colonies d'Ouessant à l'inverse du rucher ML où les colonies se distinguent en fonction de leur origine ;
- en 2012, le groupe que forment les colonies du rucher V peut être partagé en fonction de l'origine de la colonie (locale, Ouessant).

Les indices écologiques ont permis de faire une première analyse descriptive des données palynologiques des pelotes de pollen. Le calcul d'indice de similarité, couplé aux dendrogrammes, dévoile un rapprochement de certaines colonies entre elles. Une analyse multivariée (voir ci-après) permettra d'approfondir ces premiers résultats grâce à une analyse des échantillons de pollens des colonies au cours des deux saisons apicoles, 2011 et 2012.

Analyse multivariée des ressources exploitées par l'abeille au sein des aires de butinage des deux ruchers, en 2011 et 2012

Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée à partir des données palynologiques (taxons polliniques) des différents échantillons de pelotes de pollen prélevés au sein des deux ruchers, en 2011 et en 2012. Le premier plan factoriel explique 9,131 % de l'inertie totale avec un premier axe comptant pour 5,112 % et un deuxième axe comptant pour 4,019 % (Annexe 9). L'inertie totale est faible, et cela en lien avec la présence de nombreuses variables (les taxons polliniques) et peu d'individus (les échantillons de pollen). Malgré cette inertie faible, sur le 1^{er} axe du plan factoriel de l'AFC (Annexe 9, Dim 1), une opposition se dessine. Les échantillons de pollen sont caractérisés, en coordonnées positives, par des pollens de plantes ligneuses telles qu'*Ulmus*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fraxinus*, *Salix*, *Viscum album* et, en coordonnées négatives, par des pollens de plantes herbacées telles qu'*Ailanthus*, *Calystegia*, *Centaurea*, *Filipendula*, *Galium* ou *Sanguisorba*. Sur le 2^{ème} axe du plan factoriel de l'AFC (Annexe 9, Dim 2), l'opposition de deux groupes est moins forte. Néanmoins, la caractérisation de cet axe, en coordonnées négatives, par des taxons

polliniques tels que Céréales, *Fagopyrum*, *Helianthus*, *Onobrychis*, *Phacelia*, *Zea mays*, peut amener à penser que certains échantillons présentent une part plus importante de pollens issus d'espèces cultivées. En coordonnées positives, les taxons polliniques caractéristiques de cet axe sont principalement des pollens sauvages, issus de plantes ligneuses ou herbacées tels qu'*Aesculus*, *Robinia*, type *Crataegus*, *Genista*, type *Raphanus*. La présence caractéristique de *Brassica napus* est également à noter.

Une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) réalisée à partir de l'AFC a permis de grouper les échantillons de pelotes de pollen des deux ruchers et des deux années d'étude (Figure 52). Les clusters 4 et 5 présentent les échantillons prélevés en début de saison apicole (janvier au début du mois d'avril). Le cluster 3 regroupe des échantillons de pelotes de pollen récoltés au printemps et en début d'été (avril à juillet) et les clusters 1 et 2 regroupent également des prélèvements de pollen du mois de juillet jusqu'à la fin de la saison apicole.

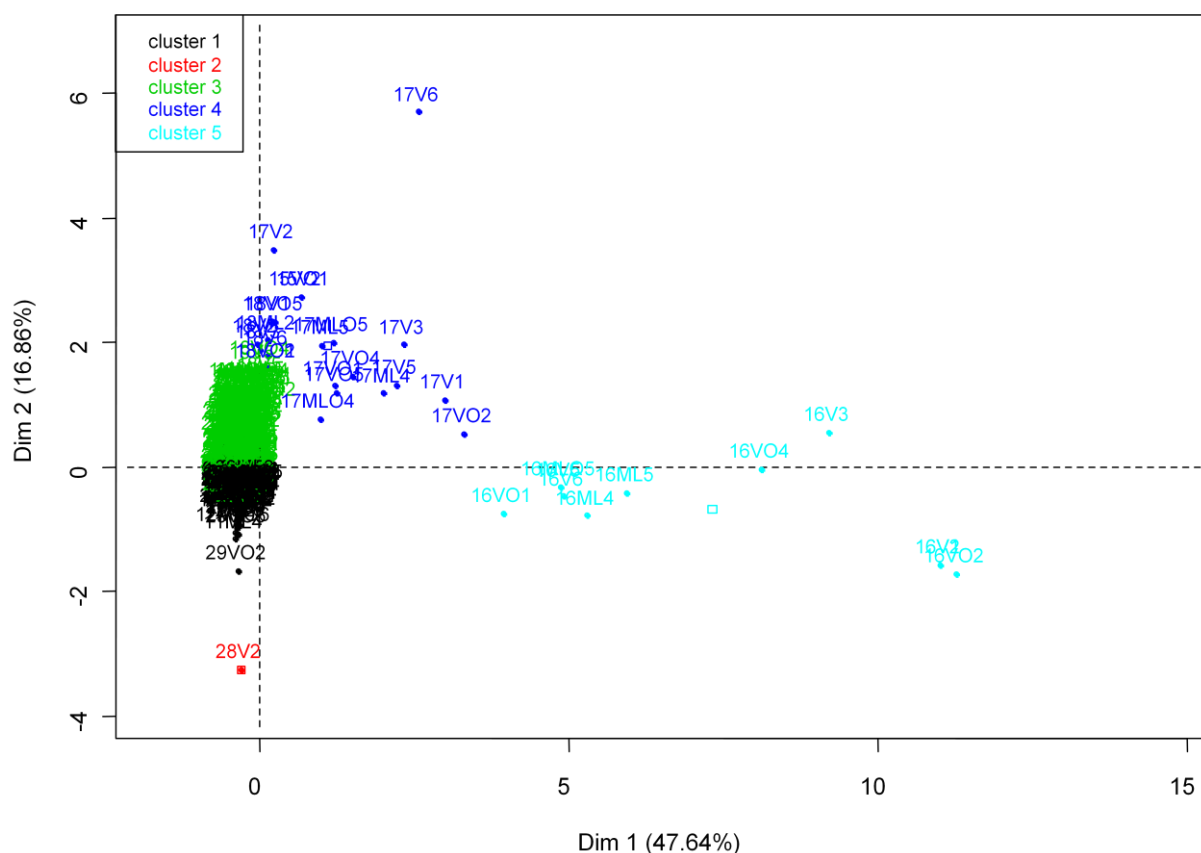


Figure 52. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les échantillons de pelotes de pollen après une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) (les échantillons sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie).

Cette AFC a permis d'associer des taxons polliniques à des périodes d'échantillonnage. Une observation de certains taxons polliniques et des profils palynologiques de l'ensemble des colonies en 2011 et en 2012 va permettre d'affiner cette analyse.

Profils palynologiques des colonies

Les analyses palynologiques permettent d'identifier la qualité et la proportion des pollens rapportés à la ruche par les abeilles tout au long de la saison apicole.

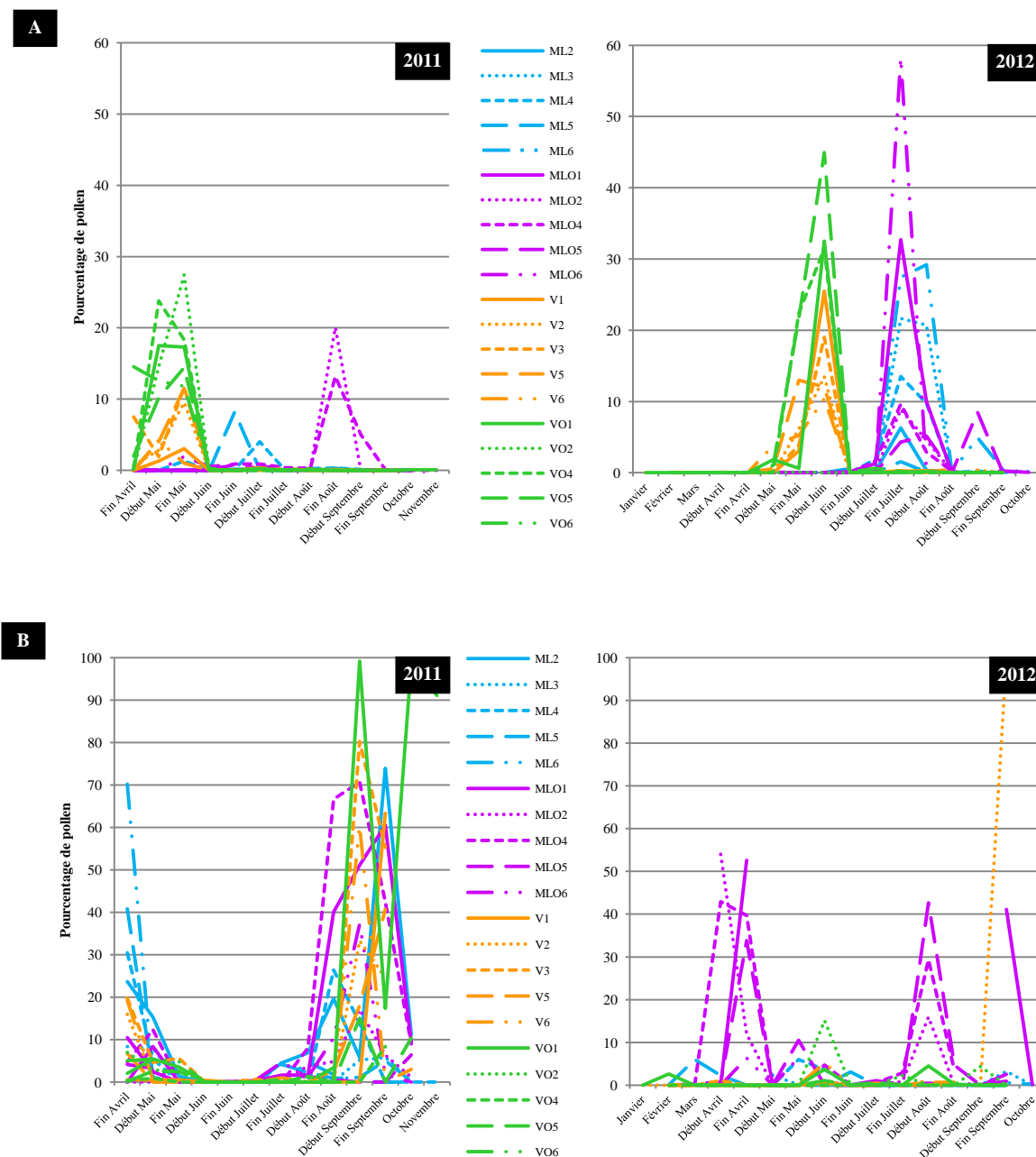
Les résultats permettent de mettre en évidence des taxons polliniques communs à l'ensemble des colonies étudiées (ruchers ML et V, années 2011 et 2012). Ces taxons sont, pour les mieux présents, les Apiaceae, Asteraceae liguliflores, Brassicaceae, *Castanea*, Fabaceae, *Helianthus*, type *Prunus*, type *Rubus*. En revanche, certains taxons polliniques n'ont été identifiés que dans les échantillons de pelotes de pollen d'un seul rucher, d'une seule origine de colonie ou même d'une origine de colonie au sein d'un rucher (Tableau 40).

Tableau 40. Taxons polliniques identifiés dans un seul rucher, pour une seule origine de colonie ou dans un même rucher et pour un type de colonie.

Colonies du rucher ML	Colonies du rucher V	Colonies locales du rucher ML	Colonies d'Ouessant du rucher ML	Colonies locales du rucher V	Colonies d'Ouessant du rucher V
<i>Ambrosia</i>	Cannabaceae	<i>Gentiana</i>	<i>Ailanthus</i>	Berberis	Cupressaceae
<i>Betula</i>	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Symphytum</i>	<i>Brassica napus</i>	<i>Fraxinus</i>	Cyperaceae
<i>Buddleja</i>	type <i>Veronica</i>	<i>Tropaeolum</i>	<i>Catalpa</i>	Lythraceae	<i>Filipendula</i>
<i>Betula</i>	<i>Viola</i>	type <i>Menyanthes trifoliata</i>	<i>Echium</i>	type <i>Tofieldia</i>	<i>Fumaria</i>
<i>Borago officinalis</i>		type <i>Ranunculus ficaria</i>	<i>Fagus</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Persicaria</i>
<i>Campanula</i>		type <i>Rhus</i>	Iridaceae	<i>Typha</i>	Rosaceae
<i>Cephalaria</i>		type <i>Ruta</i>	Rosaceae	<i>Ulmus</i>	type <i>Calluna vulgaris</i>
<i>Datura</i>		type <i>Tofieldia</i>	type <i>Mahonia</i>		type <i>Dioscorea communis</i>
<i>Geranium</i>			type <i>Nuphar</i>		
<i>Lagerstroemia</i>			type <i>Potamogeton</i>		
<i>Olea</i>					
<i>Onobrychis</i>					
type <i>Fragaria</i>					
type <i>Galega</i>					
type <i>Ipomea</i>					
<i>Verbascum</i>					

De façon générale, les profils palynologiques du rucher ML et du rucher V ne se ressemblent pas. De plus, une même ressource pollinique peut être butinée par les abeilles de différentes colonies, sans pour autant que ce soit :

- au même moment (Figures 53A et B),
- dans les mêmes proportions (Figure 53C)
- de façon répétée d'une année sur l'autre, comme c'est le cas du taxon *Fagopyrum* exploité en 2011 et très peu en 2012 (Figure 53D).



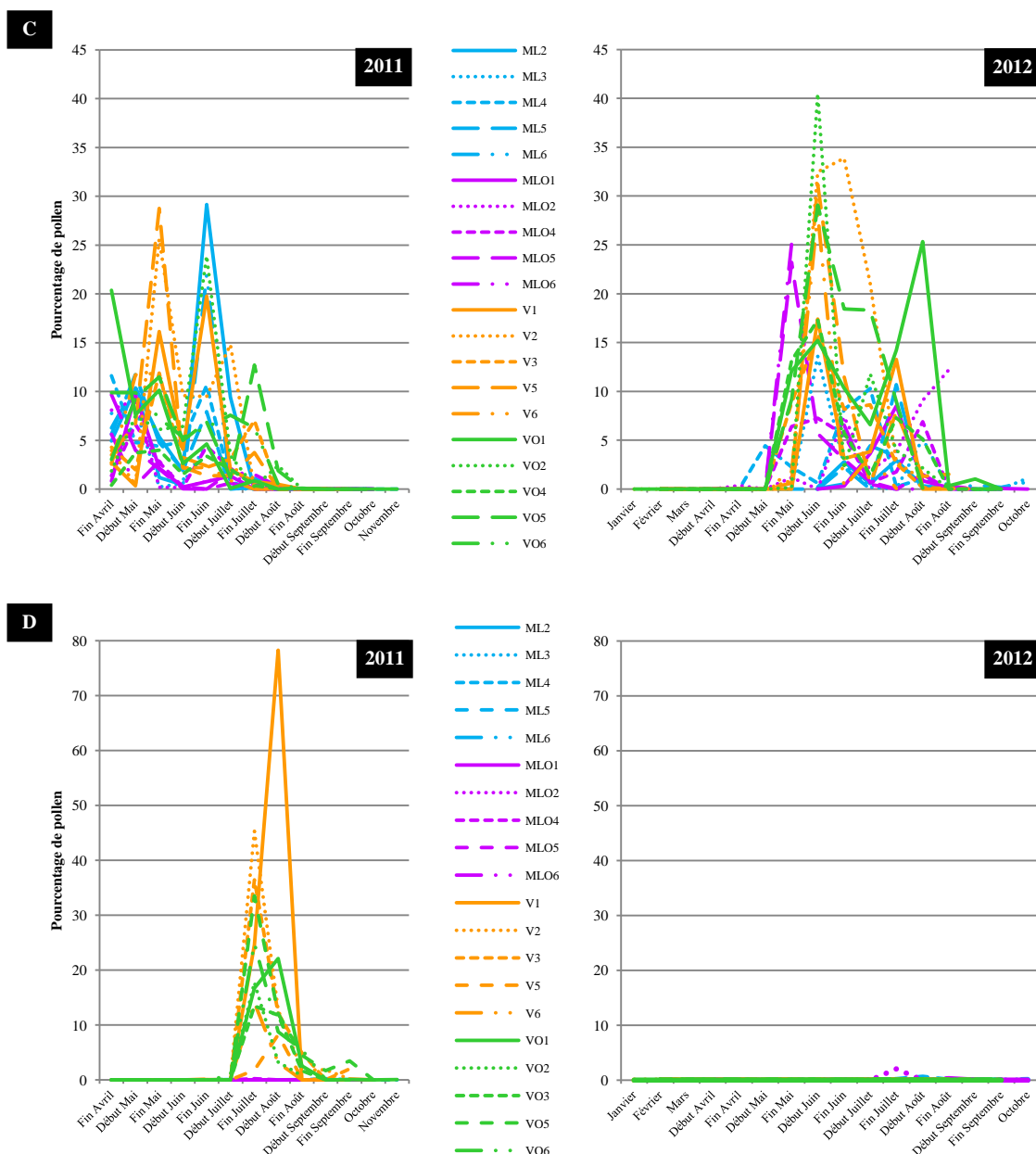


Figure 53. Proportions de 4 taxons polliniques au sein des différentes colonies pendant les saisons apicoles 2011 et 2012 ; A = Apiaceae, B = Brassicaceae, C = type *Rubus*, D = *Fagopyrum*.

Pour mieux visualiser les récoltes de pollens effectuées par les abeilles, des graphiques comparables à ceux de Louveaux (1958), ont été réalisés. Il s'agit d'un mode de représentation qui rend compte des substitutions de pollens au cours de la saison apicole. En abscisse figure l'échelle du temps et en ordonnées, la superposition des pourcentages des différents pollens présents dans chaque échantillon. Il est supposé qu'aux dates pour lesquelles il n'y a pas eu d'échantillons prélevés, les pourcentages ont des valeurs intermédiaires à celles des échantillons les plus proches (Annexes 10 et 11).

Malgré une signature pollinique unique pour chaque colonie, au sein des deux ruchers, pendant les deux saisons apicoles 2011 et 2012, un « schéma » pollinique se dessine. En tout

début de saison apicole (janvier à mars), les abeilles butinent des pollens issus préférentiellement de plantes sauvages ligneuses telles que *Corylus*, *Alnus*, *Salix*, *Viscum album*. Au **début du printemps** (avril à mai), les abeilles poursuivent l'exploitation de pollen provenant d'espèces ligneuses, notamment *Quercus*, type *Crataegus* ou encore *Sambucus*. A ces espèces ligneuses, s'ajoutent des espèces sauvages herbacées telles que type *Veronica*, Papaveraceae, type *Trifolium*, *Verbascum*. Au sein du rucher ML, en 2011 et 2012, des pollens d'espèces cultivées, ou potentiellement cultivées, qui sont *Brassica napus*, Brassicaceae, *Onobrychis*, type *Raphanus*¹⁶ ont été identifiés. En juin, le taxon pollinique *Castanea* apparaît en forte proportion sur l'ensemble des profils palynologiques (Figure 54).

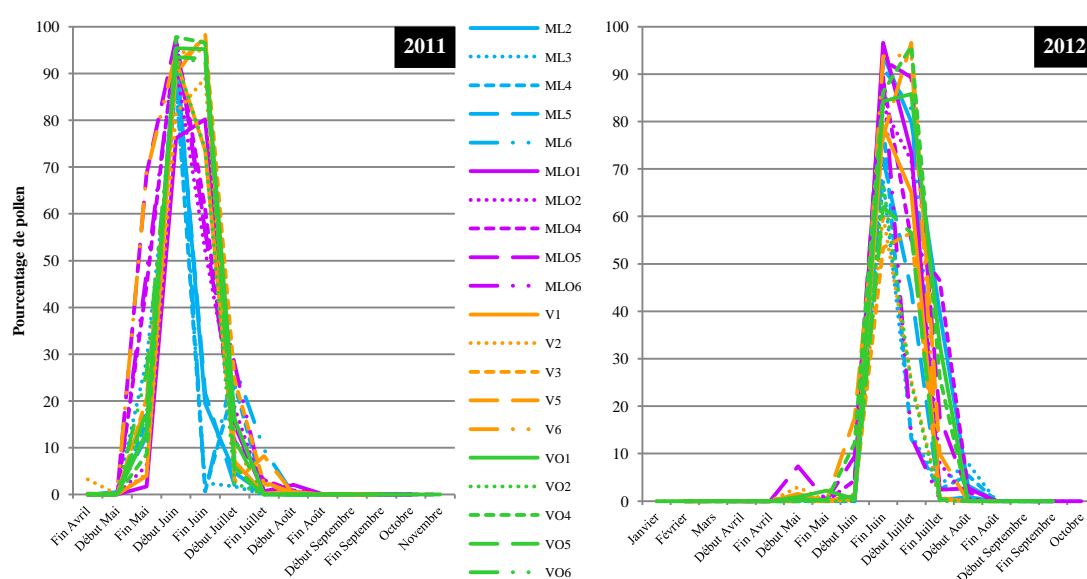


Figure 54. Proportion du pollen de châtaignier au sein des différentes colonies pendant les saisons apicoles 2011 et 2012.

Au **début de l'été** (juillet et août), les pollens ramenés à la ruche proviennent d'espèces sauvages et cultivées. Les taxons polliniques d'espèces cultivées sont en plus forte proportion à cette période de l'année et sont représentés par *Phacelia*, *Helianthus*, *Onobrychis* ou encore Fabaceae¹⁷. Les pollens de *Fagopyrum* et *Zea mays* (Figures 53D et 55) ont été récoltés en 2011, et uniquement par les colonies du rucher V pour le genre *Fagopyrum* (Figure 53D).

¹⁶ Brassicaceae et type *Raphanus* sont des taxons polliniques pouvant provenir à la fois d'espèces sauvages et cultivées.

¹⁷ Fabaceae est un taxon pollinique pouvant provenir à la fois d'espèces sauvages et cultivées.

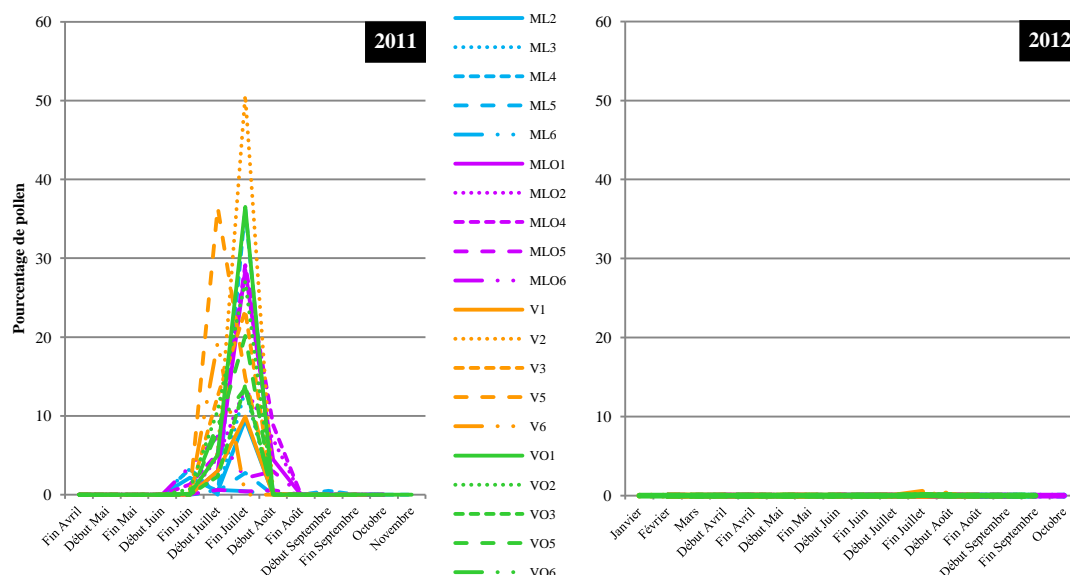


Figure 55. Proportion du pollen de maïs au sein des différentes colonies pendant les saisons apicoles 2011 et 2012.

En début d'été, les abeilles récoltent aussi des pollens d'espèces sauvages, herbacées principalement, tels que *Plantago*, type *Taraxacum*, Asteraceae, *Mercurialis*, *Hypericum*, *Centaurea*. Au sein du rucher ML, les abeilles visitent également des plantes ornementales et rapportent à la colonie des taxons tels qu'*Impatiens*, *Lagerstroemia*, *Pyracantha* ou *Parthenocissus*.

A la **fin de l'été** et au **début de l'automne** (septembre à novembre), les profils palynologiques présentent principalement des pollens d'espèces cultivées (Brassicaceae¹⁸, *Phacelia*), et d'espèces sauvages ligneuses et herbacées (Lamiaceae, *Solanum*, Asteraceae, *Hedera*).

Parmi les **espèces présentes en petites quantités** (moins de 5 % sur l'ensemble des échantillons de chaque saison apicole), on retrouve des taxons de plantes ornementales telles que *Buddleja*, *Elaeagnus*, *Lagerstroemia*, des taxons d'espèces cultivées comme Céréales ou encore *Fagopyrum* mais très peu de Rosaceae (taxon d'identification du pollen de pommier) pour le rucher ML. Pour le rucher V, il s'agit de taxons comme Asteraceae, Caryophyllaceae, Céréales, type *Lotus*, type *Cirsium* mais également d'autres taxons tels que Cannabaceae, *Galium* ou encore *Viola* (Annexes 10 et 11).

¹⁸ Brassicaceae est un taxon pollinique pouvant provenir à la fois d'espèces sauvages et cultivées.

Les pelotes de pollen prélevées sur le plancher des ruches sont comparables à celles prélevées dans les trappes à pollen. L'ensemble de notre analyse est donc basé sur ce constat bien que les résultats, issus des deux techniques de collecte pourraient montrer une complémentarité des données.

La richesse et la diversité des familles de pollen et des taxons polliniques sont supérieures pour les colonies du rucher ML. En revanche, les analyses n'ont pas permis de mettre en évidence de différence de richesse et de diversité pollinique entre 2011 et 2012 (sauf pour la diversité des taxons polliniques qui est plus importante en 2011) et entre les colonies d'origines différentes (colonies d'abeilles locales et celles originaires d'Ouessant).

Alors que les indices de Bray-Curtis tendent à montrer des similarités entre les colonies des deux ruchers au sein d'une même année, les analyses multivariées ont permis d'affiner les résultats et de corréler des périodes d'échantillonnage à des taxons polliniques.

Enfin, les profils palynologiques ont permis d'identifier ces taxons polliniques qui se succèdent au cours de la saison apicole. Les premiers pollens récoltés par les abeilles proviennent essentiellement d'espèces végétales sauvages ligneuses (de type phanérophyte et chamaephyte frutescent), que l'on retrouve dans les deux ruchers d'une année sur l'autre. D'autres espèces sauvages et cultivées peuvent parfois apparaître dans les profils palynologiques en début de saison mais cela dépend de l'année étudiée, du rucher et des colonies. Suite à la floraison du châtaignier, la présence d'espèces cultivées dans les profils palynologiques est plus importante sans toutefois être exclusive. Des pollens provenant d'espèces sauvages et d'espèces ornementales (particulièrement pour le rucher ML) sont également présents. En fin de saison apicole on retrouve des espèces cultivées et des espèces sauvages, principalement avec la présence de Lierre commun.

III.2.3. Flore mellifère visitée par les abeilles

Des échantillonnages de miels nous ont permis d'évaluer les ressources nectarifères et de miellat butinés par les abeilles. Bien que la palynologie ne soit pas suffisante à elle-seule pour déterminer l'ensemble des nectars et miellats composant le miel, l'identification des pollens présents dans sa composition est une première approche pour connaître les fleurs et les espèces végétales visitées.

III.2.3.a. Echantillons de miel prélevés dans les colonies

Le miel nouveau de quatre colonies d'abeilles dont deux colonies dans chaque rucher (une colonie locale et une colonie d'Ouessant soit ML1 et MLO3, et V4 et VO3) a été échantillonné pendant les deux années d'études.

Au total, 40 échantillons de miel ont été analysés, dans lesquels 58 familles et 99 taxons polliniques ont été identifiés.

Le **nombre de familles polliniques** identifiées dans les miels semble plus important en 2011 qu'en 2012 ([Tableau 41](#)).

Tableau 41. Nombre de familles polliniques pour l'ensemble des miels de chaque colonie (ML1, MLO3, V4, VO3), en 2011 et en 2012.

Colonie	ML1	MLO3	V4	VO3
2011	40	36	25	30
2012	34	33	23	–
2011 et 2012	49	45	31	30

En 2011 et 2012, le nombre de familles représentées dans les échantillons de miel n'est pas significativement différent (toutes colonies confondues) (test de Wilcoxon, $V = 92,5$; $p\text{-value} = 0,2138$). Cependant le rucher ML comportent significativement plus de familles de pollen dans le miel que le rucher V (2011 et 2012 confondues) (test de Mann-Whitney, $W = 394$; $p\text{-value} = 0,0006602$) ([Figure 56](#)).

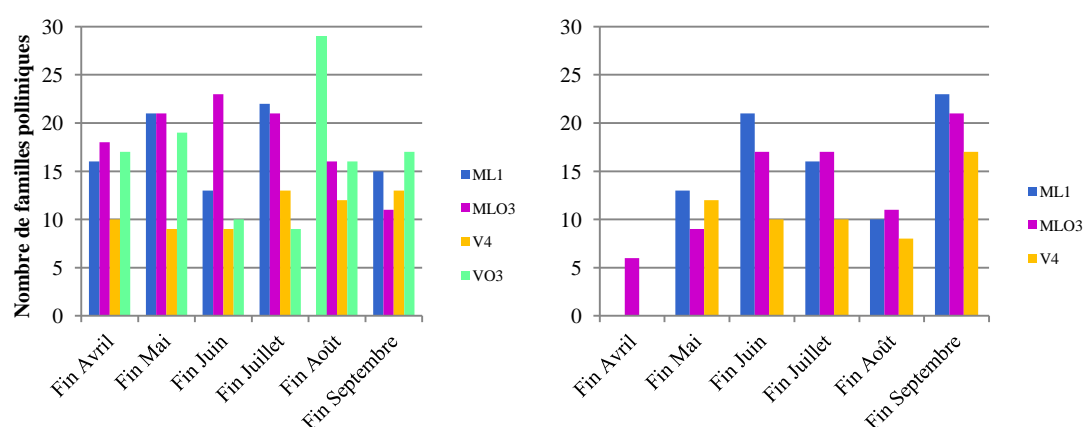


Figure 56. Nombre de familles polliniques présentes dans les échantillons de miels de chaque colonie (ML1, MLO3, V4, VO3) au cours des saisons apicoles 2011 (à gauche) et 2012 (à droite).

Le nombre de familles polliniques peut être très variable d'une année à l'autre, d'un mois sur l'autre et d'une colonie à l'autre (Figure 56).

La **diversité des familles polliniques** ne semble pas être différente entre 2011 et 2012 (test de Wilcoxon, $V = 69,5$; $p\text{-value} = 0,9588$), ni entre les miels des ruchers ML et V (test de Mann-Whitney, $W = 259,5$; $p\text{-value} = 0,08227$).

Le **calcul des indices de Bray-Curtis** basé sur les données palynologiques du miel, à l'échelle des familles, n'a pas permis de mettre en évidence des rapprochements pertinents d'échantillons de miel (regroupements par rucher, par type de colonie ou par date d'échantillonnage) (Annexe 12A).

La **richesse des taxons polliniques** semble plus importante pour le rucher ML par rapport au rucher V mais aussi en 2011 par rapport à l'année 2012 pour l'ensemble des colonies étudiées (Tableau 42).

Tableau 42. Richesse pollinique de l'ensemble des miels de chaque colonie (ML1, MLO3, V4, VO3), en 2011 et en 2012.

Colonie	ML1	MLO3	V4	VO3
2011	57	54	38	45
2012	43	47	31	–
2011 et 2012	67	60	45	45

La richesse pollinique varie de façon importante en fonction des colonies et de la saison apicole considérée (Figure 57). Les échantillons de miel de la colonie ML1 présentent les richesses polliniques les plus élevées en mai, juillet et août 2011. Lors de ces mêmes mois de l'année 2012, la richesse pollinique des échantillons de miel de ML1 est la plus faible et inversement pour la richesse pollinique de la colonie MLO3 en septembre (faible en 2011 et élevée en 2012).

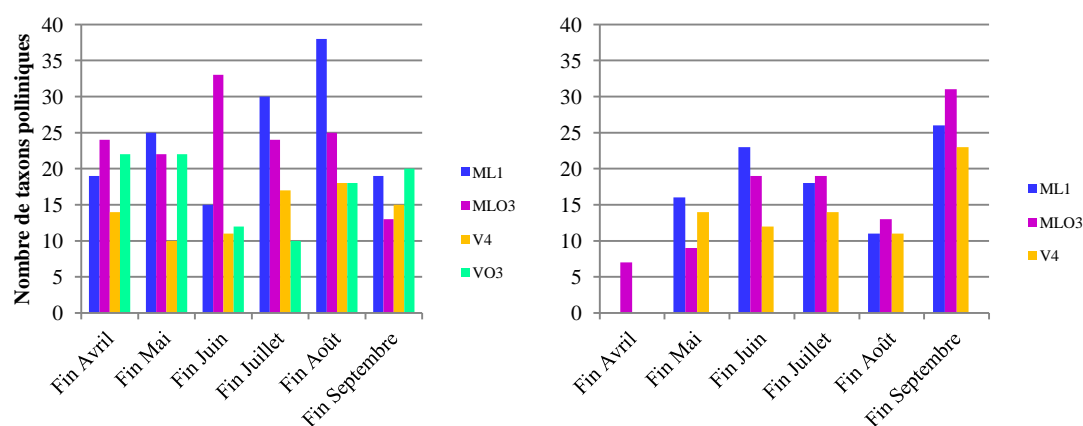


Figure 57. Richesse pollinique des échantillons de miels de chaque colonie (ML1, MLO3, V4, VO3) au cours des saisons apicoles 2011 (à gauche) et 2012 (à droite).

Un test de Mann-Whitney a permis de montrer que la richesse pollinique des échantillons de miel du rucher ML est plus importante que celle des échantillons de miel du rucher V (année 2011 et 2012 confondues) ($W = 283,0$; $p\text{-value} = 0,0086$). En revanche, la richesse pollinique n'apparaît pas significativement plus importante en 2011 qu'en 2012 (toutes colonies confondues) (test de Wilcoxon, $V = 96,5$; $p\text{-value} = 0,1475$).

La **diversité pollinique** varie également en fonction des périodes d'échantillonnage (Tableau 43).

L'évolution des diversités polliniques dans les échantillons de miel est différente en fonction des colonies même lorsqu'elles sont du même rucher et que les prélèvements ont été effectués au même moment. C'est le cas notamment dans le rucher ML en 2011 ; la diversité pollinique du miel prélevé au mois de juin dans la colonie MLO3 (2,72) est 6 fois supérieure à celle de ML1 (0,45). A l'inverse, au mois de septembre, c'est la diversité pollinique de l'échantillon de miel de ML1 (2,18) qui est 6 fois supérieure à la diversité pollinique de l'échantillon de miel MLO3 (0,32).

L'équitabilité évolue globalement dans le même sens que la diversité, ce qui suggère une hétérogénéité des espèces de pollen lors de faible diversité pollinique (H_s) et une plus grande homogénéité des espèces polliniques lorsque celle-ci est élevée (Tableau 43).

Tableau 43. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s), diversité théorique (indice de Shannon théorique, H_{th}) et équitabilité (E) des échantillons de miel des deux ruchers (ML et V) lors des périodes d'échantillonnage pendant les deux saisons apicoles 2011 et 2012.

		ML1			MLO3			V4			VO3		
		H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E
2011	Fin avril	1,59	2,94	0,54	1,22	3,18	0,38	0,80	2,64	0,30	1,79	3,09	0,58
	Fin mai	1,92	3,22	0,60	1,53	3,09	0,49	1,24	2,30	0,54	2,02	3,09	0,65
	Fin juin	0,45	2,71	0,17	2,72	3,50	0,78	0,31	2,40	0,13	0,34	2,48	0,14
	Fin juillet	1,65	3,40	0,49	1,76	3,18	0,55	0,62	2,83	0,22	0,53	2,30	0,23
	Fin août	1,82	3,64	0,50	0,75	3,22	0,23	1,29	2,89	0,45	1,34	2,89	0,46
	Fin septembre	2,18	2,94	0,74	0,32	2,56	0,12	0,40	2,71	0,15	1,16	3,00	0,39
		H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E	H_s	H_{th}	E			
2012	Fin avril	–	–	–	0,14	1,95	0,07	–	–	–			
	Fin mai	0,95	2,77	0,34	0,81	2,20	0,37	0,43	2,64	0,16			
	Fin juin	1,83	3,14	0,58	1,48	2,94	0,50	0,63	2,48	0,25			
	Fin juillet	1,5	2,89	0,52	0,96	2,94	0,33	1,50	2,64	0,57			
	Fin août	0,31	2,40	0,13	1,06	2,56	0,41	1,63	2,40	0,68			
	Fin septembre	1,82	3,26	0,56	1,92	3,43	0,56	1,94	3,14	0,62			

Par ailleurs, la diversité pollinique n'est pas significativement différente entre 2011 et 2012 (test de Wilcoxon, $V = 74$; $p\text{-value} = 0,782$) et entre le rucher ML et V (test de Mann-Whitney, $W = 203,5$; $p\text{-value} = 0,8374$) (Tableau 43).

Le calcul des indices de Bray-Curtis basé sur les données palynologiques du miel, à l'échelle des taxons, n'a pas révélé ici non plus, de regroupements par rucher, par type de colonie ou par date d'échantillonnage (Annexe 12B).

Les profils palynologiques réalisés à partir des échantillons de miel sur la même base que ceux des pelotes de pollen (Figures 58, 59 et annexe 13), montrent que certaines espèces ont été identifiées uniquement dans les échantillons de miel (non identifiées dans les échantillons de pelotes de pollen). C'est le cas des taxons polliniques *Celtis*, *Eucalyptus*, *Moraceae*, *Palmaceae*, *Platanus*, type *Primula*, type *Triticum*.

Les profils palynologiques des miels sont différents mais présentent tous le taxon pollinique *Castanea* (châtaignier) en quantité variable et présent tout au long de la saison apicole et plus particulièrement du mois de mai au mois de septembre.

Au sein du rucher ML, les profils des deux colonies étudiées (ML1 et MLO3) sont différents en 2011 et en 2012 (Figure 58, tableau 44 et annexe 13).

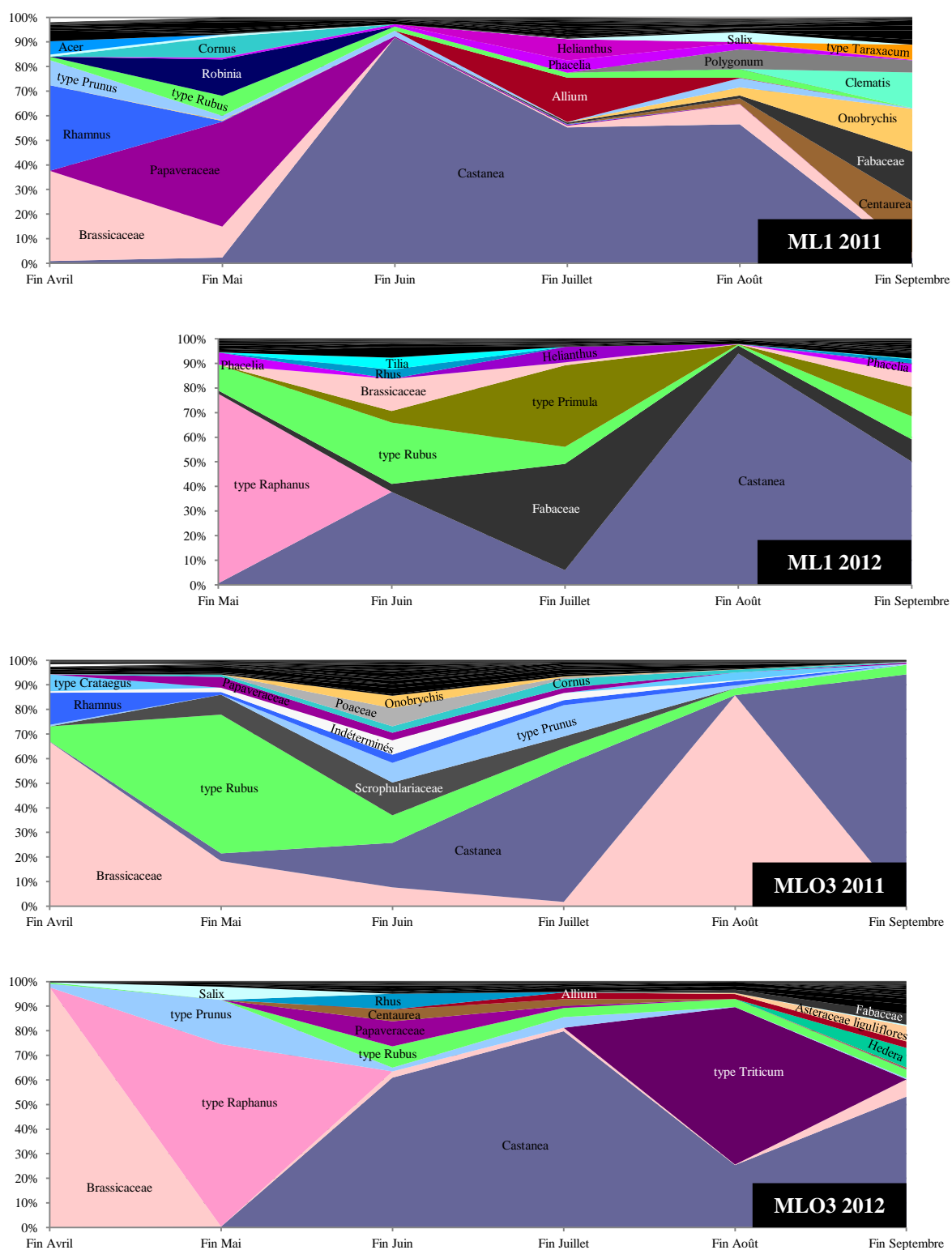


Figure 58. Profils palynologiques des échantillons de miels de deux colonies du rucher ML (seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques).

Malgré cette différence, des similitudes entre profils palynologiques sont à noter comme i/ la présence de *Castanea* tout au long de la saison apicole dans l'ensemble des colonies, ii/ la présence marquée de certains taxons pour un type de colonie (*Helianthus* et *Phacelia* en 2011 et en 2012 pour la colonie locale ML1), iii/ des taxons polliniques présents au sein des deux colonies mais seulement pendant une année (*Onobrychis* et *Papaveraceae* en 2011 et type *Raphanus* en 2012) ou encore iv) la présence de pollen abondant mais isolé dans une colonie comme *Robinia*, type *Primula* ou type *Triticum* (Tableau 44).

Tableau 44. Différences et similitudes entre les profils palynologiques des échantillons de miel du rucher ML en 2011 et 2012.

	ML1 en 2011	ML1 en 2012	MLO3 en 2011	MLO3 en 2012
Taxons présents sur toute la saison apicole	<i>Castanea</i> , type <i>Prunus</i>	<i>Castanea</i> , Fabaceae, type <i>Rubus</i>	<i>Castanea</i> , Brassicaceae, type <i>Rubus</i>	<i>Castanea</i> , type <i>Prunus</i>
Taxons d'espèces cultivées	<i>Helianthus</i> , <i>Onobrychis</i> , <i>Phacelia</i>	<i>Helianthus</i> , <i>Phacelia</i>	<i>Onobrychis</i>	type <i>Triticum</i>
Taxons d'espèces cultivées et sauvages	Brassicaceae, Fabaceae	Brassicaceae, Fabaceae, type <i>Raphanus</i>	Brassicaceae	Brassicaceae, type <i>Raphanus</i>
Particularités	taxons issus d'espèces ligneuses en début de saison (<i>Robinia</i> , <i>Acer</i> , ...)	taxons issus d'espèces ligneuses en début de saison (<i>Rhus</i> , <i>Tilia</i> , ...)	taxons issus d'espèces ligneuses répartis sur la saison apicole (type <i>Prunus</i> , type <i>Crataegus</i> , ...)	taxons issus d'espèces ligneuses en début de saison (<i>Salix</i> , <i>Rhus</i> , ...)
	taxons issus d'espèces herbacées (<i>Papaveraceae</i> , type <i>Taraxacum</i> , ...)	type <i>Primula</i> bien représenté au cours de la saison	autres taxons (<i>Papaveraceae</i> , <i>Scrophlariaceae</i> , <i>Poaceae</i> , ...)	en fin de saison (<i>Hedera</i> , <i>Asteraceae</i> , ...)

Les profils palynologiques des échantillons de miel du rucher V sont également différents les uns des autres sachant que seuls trois profils sont présents étant donné la mort de la colonie VO3 pendant l'hiver 2011-2012 (Figure 59, tableau 45 et annexe 13).

La présence des pollens Brassicaceae, *Castanea* et type *Rubus* est commune aux 3 profils palynologiques dans des quantités supérieures à 5 % sur l'ensemble de la saison apicole. Les taxons *Fagopyrum* et type *Triticum* sont les seules espèces cultivées identifiées respectivement dans les colonies V4 et VO3 en 2011. Enfin, d'autres pollens ont été identifiées tels que *Poaceae* ou encore type *Trifolium*.

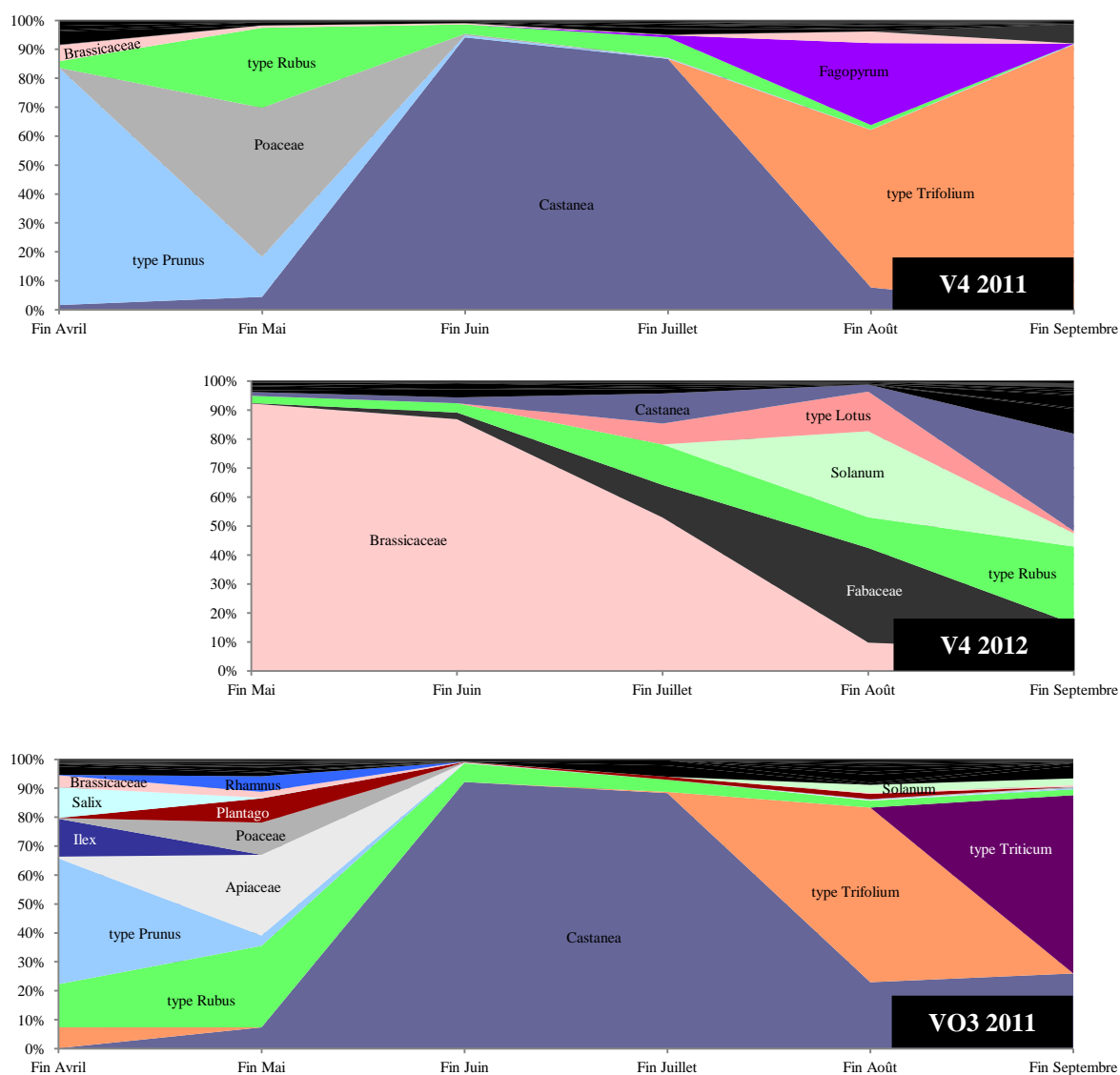


Figure 59. Profils palynologiques des échantillons de miel de deux colonies du rucher V (seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques).

Tableau 45. Différences et similitudes entre les profils palynologiques des échantillons de miel du rucher V en 2011 et 2012.

	V4 en 2011	V4 en 2012	VO3 en 2011
Taxons présents sur toute la saison apicole	Brassicaceae, <i>Castanea</i> , type <i>Prunus</i>	Brassicaceae, Fabaceae, type <i>Rubus</i>	<i>Castanea</i> , type <i>Rubus</i>
Taxons d'espèces cultivées	<i>Fagopyrum</i>	—	type <i>Triticum</i>
Taxons d'espèces cultivées et sauvages	Brassicaceae	Brassicaceae, Fabaceae	Brassicaceae
Particularités	<p>en début de saison (Poaceae, type <i>Rubus</i>, ...)</p> <p>en fin de saison (type <i>Trifolium</i>, ...)</p>	autres taxons (<i>Solanum</i> , type <i>Lotus</i> , type <i>Rubus</i> , ...)	<p>taxons issus d'espèces ligneuses en début de saison (<i>Salix</i>, <i>Ilex</i>, type <i>Prunus</i>...)</p> <p>autres taxons (<i>Apiaceae</i>, <i>Plantago</i>, Poaceae, type <i>Trifolium</i>, ...)</p>

De nombreux pollens sont présents en très petites quantités dans les échantillons de miels (Annexe 13). Parmi ces taxons polliniques, figurent des espèces sauvages, cultivées et ornementales. Des taxons polliniques pouvant être sous-représentés dans un échantillon de miel ont été identifiés. Il s'agit de *Robinia*, *Tilia* ou encore *Helianthus*, qui nous informent sur la présence de nectar de ces différentes espèces dans le miel. Le taxon *Pinus* est présent dans un échantillon de miel de la colonie MLO3 en 2011 et indique la présence d'un miel provenant en partie de miellat. Des taxons polliniques issus d'espèces ornementales ont également été identifiés dans les échantillons de miel du rucher ML tels que *Palmaceae*, *Parthenocissus*, *Elaeagnus* ou encore *Eucalyptus*.

L'analyse palynologique des miels n'a pas permis de mettre en évidence une richesse pollinique (familles et/ou taxons) différente entre les deux années d'études. Il semblerait que le nombre de pollens soit supérieur dans le rucher ML. Le calcul de la diversité ne permet pas de différencier les années ou les ruchers étudiés, pas plus que les indices de Bray-Curtis. Les profils palynologiques apparaissent très variables au cours des saisons apicoles avec la présence de pollens qui n'avaient pas été identifiés dans les pelotes de pollen. Il est profitable que chaque colonie exploite différemment les nectars et miellats présents dans son environnement. Néanmoins, le pollen de châtaignier domine sur la quasi-totalité des profils.

III.2.3.b. Echantillons de miel de récolte

Des échantillons de miel de récolte ont été effectués lors de l'extraction du miel des hausses de l'ensemble des colonies du rucher. Le miel des colonies locales et d'Ouessant a été récolté différemment pour chaque rucher et lors de chaque récolte.

Les miels, d'origines différentes et récoltés à la même date, sont d'apparence et de couleur différentes (Figure 60).



Figure 60. Récolte de miel d'abeilles locales et d'abeilles d'Ouessant dans les ruchers ML et V.

Ces miels se distinguent également par leur texture. Ils se caractérisent aussi par des différences liées au processus de cristallisation en dépit de conditions de prélèvements, d'extraction et de stockage rigoureusement identiques.

Des analyses palynologiques ont été réalisées sur ces différents miels pour lesquels seuls les résultats de l'année 2011 sont disponibles (Tableaux 46, 47, 48).

Tableau 46. Analyses palynologiques des échantillons de récolte (miel d'abeilles locales et miel d'abeilles d'Ouessant) du 9 août 2011 dans le rucher du Maine-et-Loire.

Pollens	Miel des abeilles locales	Miel des abeilles d'Ouessant
Dominants (> 45 %)	Châtaignier	Châtaignier
Accompagnement (> 15 %)		
Isolés (< 14 %)	<i>Phacelia</i>	<i>Papaver</i>
	<i>Rubus</i>	<i>Phacelia</i>
	<i>Quercus</i>	Poaceae
	Brassicaceae	<i>Rhamnus</i>
	<i>Tilia</i>	Fruitiers
	<i>Rhamnus</i>	<i>Ulex</i>
	<i>Chamaerops</i>	Brassicaceae
	Fruitiers	Apiaceae
	<i>Robinia</i>	<i>Echium</i>
	<i>Trifolium repens</i>	Balsaminaceae
	<i>Centaurea</i>	<i>Ailanthus</i>
	<i>Onobrychis</i>	

Tableau 47. Analyses palynologiques des échantillons de récolte (miel d'abeilles locales et miel d'abeilles d'Ouessant) du 23 juin 2011 dans le rucher de Vendée.

Pollens	Miel des abeilles locales	Miel des abeilles d'Ouessant
Dominants (> 45 %)	Châtaignier	Châtaignier
Accompagnement (> 15 %)	—	—
Isolés (< 14 %)	<i>Rubus</i>	<i>Rubus</i>
	Brassicaceae	<i>Plantago</i>
	Poaceae	Poaceae
	<i>Quercus</i>	<i>Salix</i>
	<i>Rumex</i>	Apiaceae
	<i>Salix</i>	<i>Rumex</i>
	<i>Plantago</i>	<i>Heracleum</i>
	Fruitiers	<i>Papaver</i>
	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Quercus</i>
	<i>Lotus</i>	<i>Ulex</i>
	<i>Rhamnus</i>	<i>Ligustrum</i>
	<i>Tilia</i>	
	<i>Centaurea</i>	

Tableau 48. Analyses palynologiques des échantillons de récolte (miel d'abeilles locales et miel d'abeilles d'Ouessant) du 17 août 2011 dans le rucher de Vendée.

Pollens	Miel des abeilles locales	Miel des abeilles d'Ouessant
Dominants (> 45 %)	Châtaignier	Châtaignier
Accompagnement (> 15 %)	—	—
Isolés (< 14 %)	<i>Trifolium repens</i>	<i>Trifolium repens</i>
	<i>Plantago</i>	Solanaceae
	<i>Salix</i>	<i>Rubus</i>
	<i>Fagopyrum</i>	<i>Helianthus</i>
	<i>Helianthus</i>	<i>Fagopyrum</i>
	<i>Quercus</i>	<i>Plantago</i>
	<i>Rubus</i>	<i>Zea mays</i>
	Solanaceae	<i>Centaurea</i>
	<i>Zea mays</i>	<i>Ulex</i>
	<i>Mercurialis</i>	
	<i>Carduus</i>	
	Ranunculaceae	

Malgré une dominance du pollen de châtaignier dans ces six miels, ils ont tous été caractérisés comme « miel toutes fleurs » par le laboratoire d'analyse.

Les pollens isolés présents dans les miels diffèrent entre les récoltes d'un même rucher sur deux types de colonies (locales et Ouessant). De façon générale, le nombre de pollens identifiés dans les miels d'Ouessant est moins important que dans les miels locaux. Sur l'ensemble des pollens isolés, peu sont communs à la miellée des colonies locales et à celle

des colonies d'Ouessant. Pour la récolte du 9 août 2011 dans le rucher du Maine-et-Loire, seuls 4 taxons polliniques sont identiques sur 11 et 12 taxons identifiés. Dans le rucher de Vendée, lors des récoltes du 23 juin et du 17 août 2011, respectivement 6 (sur 13 et 11 taxons) et 7 (sur 12 et 9 taxons) taxons polliniques sont communs.

On remarque la présence de pollens qui sont ou peuvent être sous-représentés dans les miellées correspondantes. C'est le cas de *Carduus*, *Helianthus*, *Robinia* et *Tilia*.

Pour les trois récoltes de miel des colonies d'Ouessant, il est intéressant de noter la présence du taxon pollinique *Ulex* (ajonc) qui n'a pas été identifié pour les échantillons de miel des colonies locales.

L'ensemble des échantillons de miel de récolte, bien que caractérisé en miel toutes fleurs, présente des couleurs, des textures et des pollens différents, comme c'est le cas pour le pollen d'ajonc présent uniquement dans le miel des colonies d'Ouessant.

III.3. Stratégies de butinage : comparaison des ressources disponibles dans l'environnement et des ressources exploitées par les colonies des ruchers ML et V

La comparaison des ressources disponibles, c'est-à-dire les différentes fleurs présentes dans l'aire de butinage au cours de la saison apicole, et des ressources exploitées par l'abeille, qu'elles soient pollinifères ou mellifères, nous permet d'incrémenter les données existantes sur les stratégies de butinage développées par les abeilles des deux ruchers de Maine-et-Loire et de Vendée durant les deux années de suivi.

III.3.1. Exploitation des ressources pollinifères

III.3.1.a. Indices écologiques et comparaison des indices

La **richesse** des espèces végétales en fleurs est beaucoup plus importante que la richesse pollinique sur la quasi-totalité des saisons apicoles et dans les deux ruchers étudiés. La richesse floristique peut être jusqu'à 4 fois supérieure à la richesse pollinique récoltée par l'ensemble des colonies et jusqu'à 14 fois supérieure à la richesse pollinique moyenne d'une colonie pour le rucher ML en 2012, avec 173 espèces en fleurs dans l'aire de butinage, 38

taxons polliniques différents identifiés sur l'ensemble des colonies et 12 taxons polliniques identifiés en moyenne dans les pelotes de pollen. En Vendée, la richesse floristique est jusqu'à 7 fois supérieure au nombre de taxons polliniques identifiés dans l'ensemble des colonies et jusqu'à 26 fois supérieure à la richesse pollinique moyenne en 2011, avec 137 plantes en fleurs dans l'aire de butinage, 18 taxons polliniques différents identifiés sur l'ensemble des colonies et 5 taxons polliniques identifiés en moyenne dans les pelotes de pollen. Cette différence est moins marquée voire inversée en automne et en hiver, comme c'est le cas en Vendée au mois de novembre 2011 où 7 espèces en fleurs ont été identifiées et où l'on retrouve 15 taxons polliniques identifiés sur l'ensemble des colonies et 11 taxons identifiés en moyenne (Figure 61).

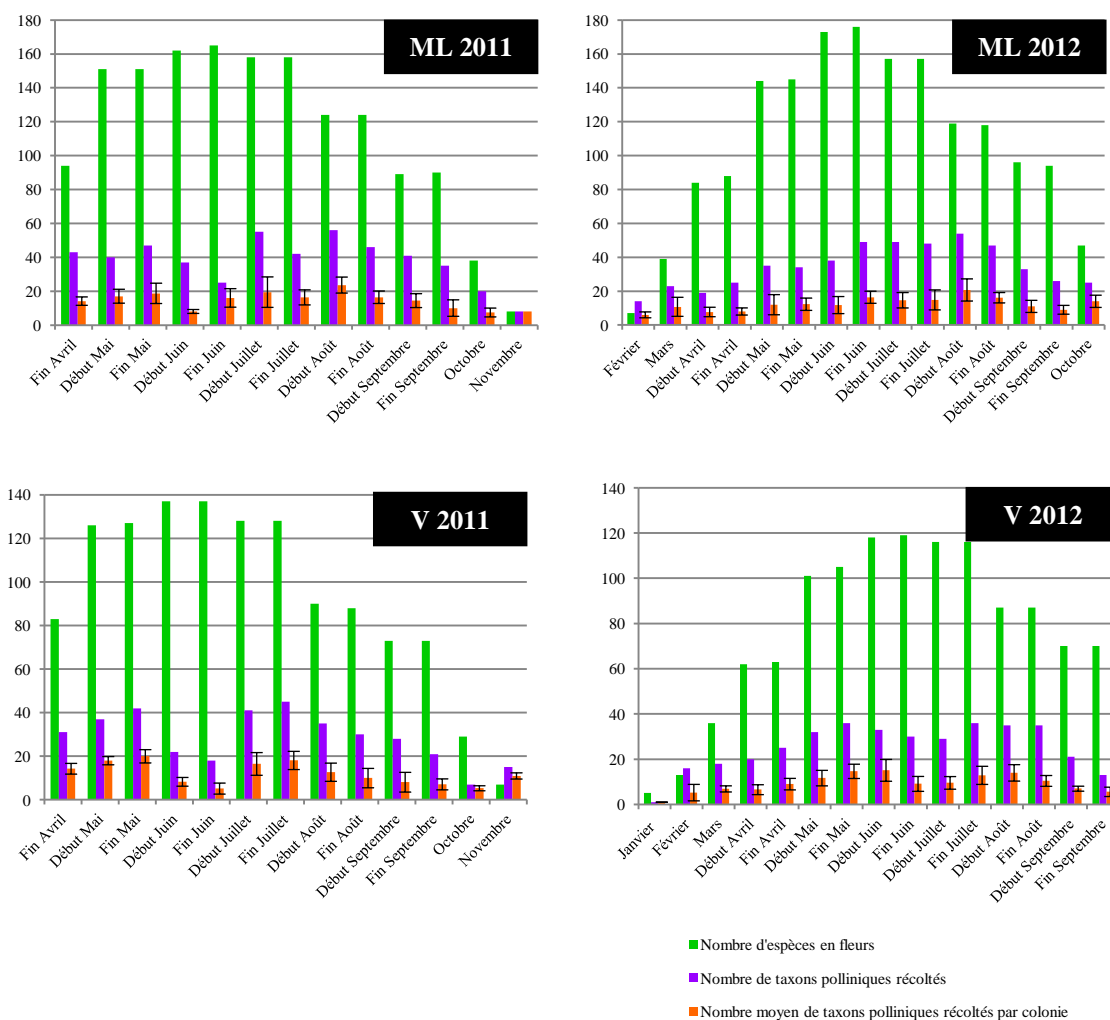


Figure 61. Nombre d'espèces fleuries présentes dans l'environnement, nombre de taxons polliniques identifiés dans l'ensemble des colonies et nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen de chaque rucher, en 2011 et en 2012.

De façon générale, la richesse pollinique évolue dans le même sens que la richesse des espèces végétales fleuries. Toutefois, en début et en fin de saison apicole (novembre 2011 pour le rucher V et février 2012 pour les ruchers ML et V), le nombre de taxons polliniques identifiés dans les colonies est supérieur au nombre d'espèces en fleurs dans l'aire de butinage visitée. Il est à noter aussi qu'en juin, et plus particulièrement en juin 2011, lorsque la richesse des plantes en fleurs est la plus importante, on constate une chute du nombre total de taxons polliniques récoltés par l'ensemble des colonies et du nombre moyen de taxons polliniques identifiés par échantillon de pelotes de pollen (Figure 61).

Ce constat est corroboré par un test de Sperman qui nous a permis de mettre en évidence une corrélation positive significative forte i/ de la richesse des familles de plantes en fleurs avec le nombre de familles polliniques identifiées dans les échantillons de pelotes de pollen ($S = 9102649$; $p\text{-value} < 2,2 \cdot 10^{-16}$; $\rho = 0,45$) et ii/ de la richesse de plantes en fleurs avec le nombre de taxons polliniques ($S = 9342307$; $p\text{-value} < 2,2 \cdot 10^{-16}$; $\rho = 0,44$). De fait, même si ρ paraît faible ($\rho < 0,6$), il convient de prendre en compte le nombre important d'échantillons ($n = 464$).

La comparaison de la **diversité** des espèces en fleurs dans l'aire de butinage et de la diversité pollinique moyenne des pelotes de pollen du rucher correspondant ne permet pas de mettre en évidence une corrélation aussi forte que pour les richesses floristiques et polliniques (Figure 62). En effet, un test de Spearman révèle qu'il ne semble pas y avoir de corrélation entre la diversité des familles végétales et la diversité des familles polliniques des échantillons de pelotes de pollen ($S = 15622189$; $p\text{-value} = 0,1844$; $\rho = 0,062$). La corrélation entre la diversité des espèces floristiques et la diversité des taxons polliniques est significativement positive mais reste faible (test de Spearman, $S = 13125799$; $p\text{-value} = 2,125 \cdot 10^{-6}$; $\rho = 0,21$). De plus, les écart-types soulignent une variabilité des données importante en ce qui concerne la diversité pollinique.

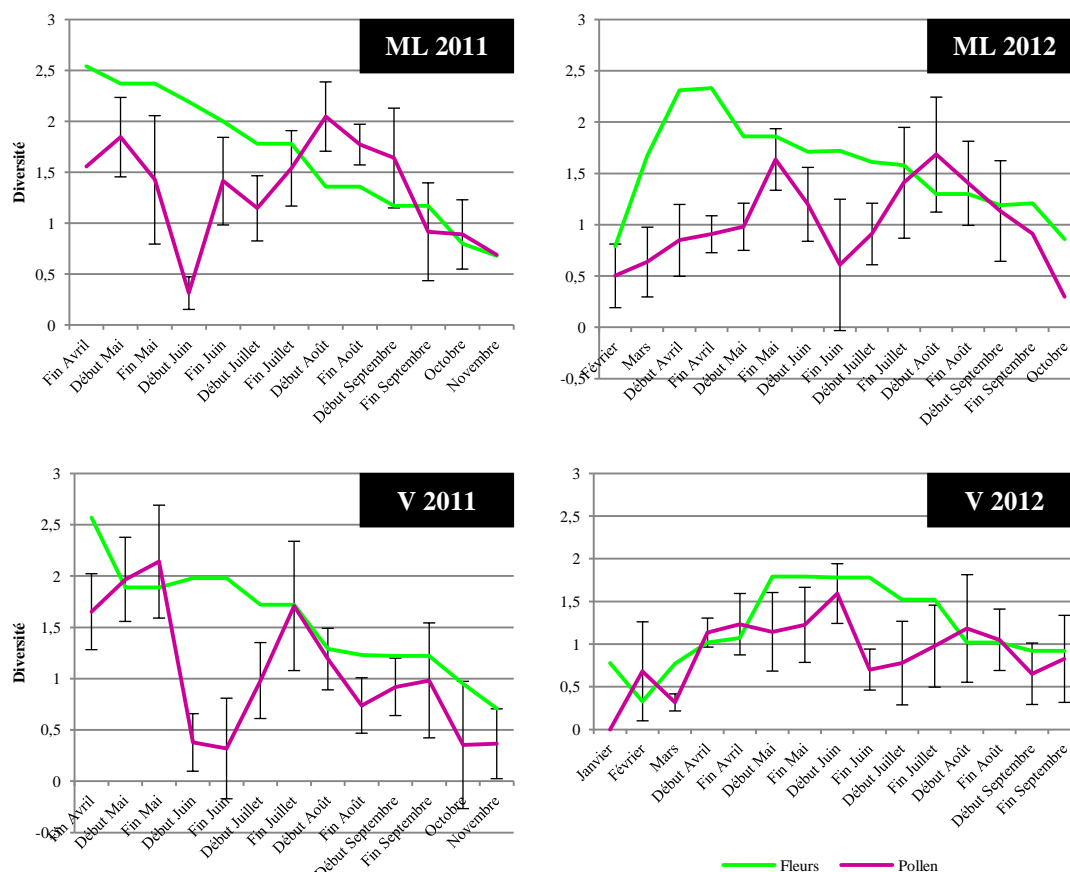


Figure 62. Diversité des espèces en fleurs de l'aire de butinage du rucher ML et du rucher V et diversité pollinique moyenne des pelotes de pollen de l'ensemble des colonies, en 2011 et en 2012.

En **2011**, la diversité des espèces végétales en fleurs diminue à partir de la fin du mois d'avril, et cela jusqu'au mois de novembre. Le nombre moyen de taxons polliniques identifiés dans les échantillons de pelotes de pollen de l'ensemble des colonies de chaque rucher augmente en début de saison puis diminue fortement en juin (Figure 62).

Dans le rucher ML, un premier « pic » de diversité apparaît début mai et un second à la fin du mois de juin et à la fin du mois de juillet avant une décroissance jusqu'à la fin de la saison apicole. Dans le rucher V, un premier « pic » de diversité est constaté fin mai, un deuxième a lieu au début du mois de juillet suivi d'une diminution et d'une légère augmentation au mois de septembre avant une diminution jusqu'à la fin de la saison apicole.

En **2012**, l'évolution de la diversité des espèces végétales en fleurs varie de la même façon qu'en 2011 avec un décalage du pic de diversité entre le rucher ML, où le pic de diversité a lieu en avril, et le rucher V, où il a lieu de mai à juin. La diversité pollinique moyenne du rucher ML augmente jusqu'en mai puis chute avant de croître début juillet puis diminuer jusqu'à la fin de la saison apicole. En Vendée, un premier pic de diversité a lieu tôt dans la

saison (février) suivi d'un deuxième pic au début du mois de juin, puis d'une chute importante de la diversité avant une légère remontée en août.

Pour les mois d'août 2011 et 2012 au sein du rucher ML, la diversité en pollens est supérieure à celle des espèces végétales en fleurs. C'est également le cas pour le rucher V en avril-mai 2011 et 2012 et en août 2012.

Les indices de richesse et de diversité comparés entre les données floristiques et les données palynologiques permettent de mettre en évidence une corrélation des ressources disponibles et des ressources exploitées par les colonies, mais aussi le fait que l'abeille n'exploite qu'une partie des ressources disponibles. A cet égard, il nous a semblé qu'une analyse multivariée pouvait permettre de mieux comprendre le lien existant entre les ressources floristiques disponibles et les ressources polliniques exploitées.

III.3.1.b. Analyses multivariées et stratégies de butinage

Deux Analyses Factorielles Multiples (AFM) ont été réalisées pour analyser le lien entre les données floristiques présentes dans l'aire de butinage et les taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen.

Une première analyse a été réalisée sur la base des familles floristiques et des familles palynologiques. Le premier plan factoriel explique 10,04 % de l'inertie totale avec un premier axe comptant pour 5,68 % et un deuxième axe comptant pour 4,36 % (Figure 63).

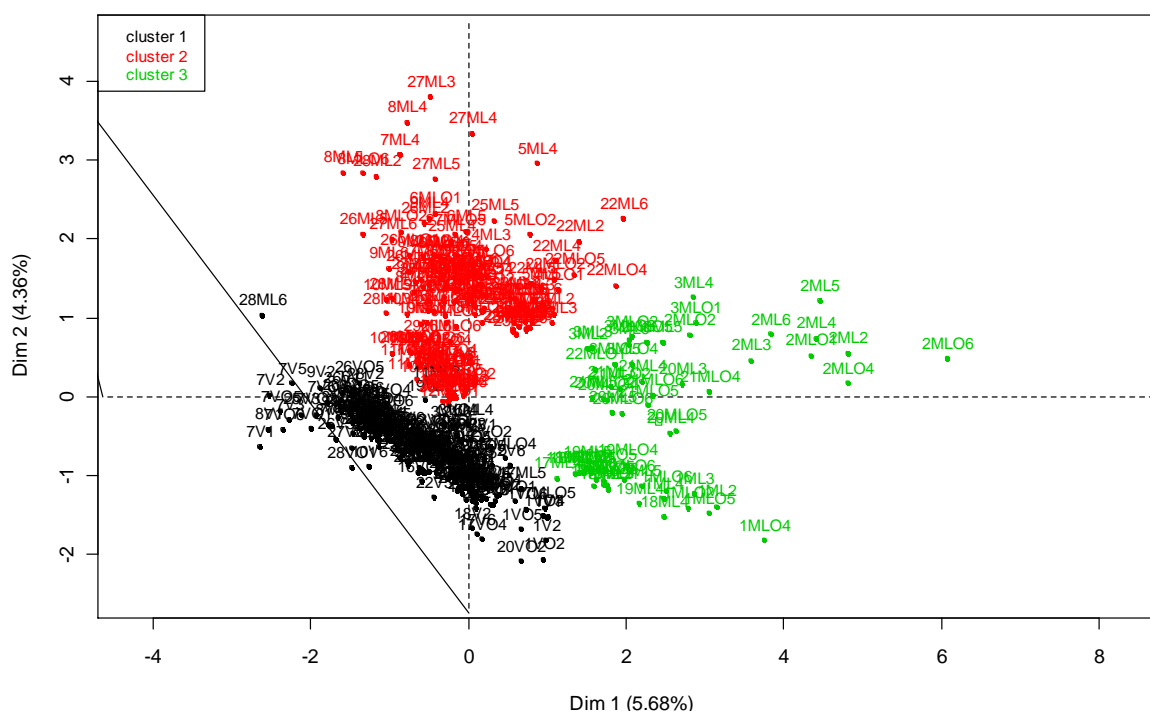


Figure 63. Analyse Factorielle Multiple basée sur les familles floristiques et polliniques identifiées. Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM et classification des individus (HPCP) (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie).

Le premier axe de l'AFM est corrélé avec les données palynologiques (coordonnée : 0,82) et les données floristiques (coordonnée : 0,70) (Annexe 14A, Dim 1). En coordonnées positives, on constate une association de familles de plantes ligneuses (Cornaceae, Fagaceae, Pinaceae, Rosaceae, Sapindaceae) et de familles polliniques (Cornaceae, Magnoliaceae, Sapindaceae, Rosaceae). La famille végétale Brassicaceae est également présente. Les individus associés à ces familles de plantes et de pollen sont des échantillons de pollen des colonies des ruchers ML et V prélevés en début de saison apicole (janvier à mai 2011 et 2012) et identifiés par les périodes de 1 à 3 et de 15 à 21 (Annexe 14B, [figure 63](#)). En coordonnées négatives, les familles végétales, principalement les herbacées, telles qu'Apiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Solanaceae, Plantaginaceae, Poaceae sont associées aux mêmes familles de pollen. Les individus associés sont des échantillons de l'ensemble des colonies prélevées de juin à novembre et identifiés par les périodes de 4 à 13 (2011) et de 22 à 30 (2012) (Annexe 14B, [figure 63](#)).

Le deuxième axe de l'AFM est davantage influencé par les données floristiques (coordonnées : 0,50 pour le pollen *versus* 0,67 pour la flore) (Annexe 14A, Dim 2). Les familles végétales (Asteraceae, Caprifoliaceae, Bignoniaceae, Elaeagnaceae, Papaveraceae) et les familles polliniques (Asteraceae, Asparagaceae, Caprifoliaceae, Ranunculaceae Hypericaceae) en coordonnées positives sont associées aux individus correspondant

principalement aux échantillons du rucher ML. Elles s'opposent aux familles végétales (Oleaceae, Orchidaceae, Violaceae, Betulaceae) et polliniques (Aquifoliaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae) en coordonnées négatives qui sont associées globalement aux échantillons du rucher V (Annexe 14B, [figure 63](#)).

Malgré des valeurs faibles d'inertie (coefficient Lg) et de combinaison des deux types de données (coefficients RV), la corrélation entre les données floristiques et les données palynologiques est significative mais reste faible (Lg = 0,96 ; RV = 0,14 ; p-value = $5,56.10^{-28}$). Une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HPCP) permet cependant de regrouper des individus caractérisés par des espèces végétales et des taxons polliniques ([Figure 63](#), [tableau 49](#)).

Tableau 49. HCPC : groupes (clusters) d'individus caractérisés par des familles botaniques et des familles polliniques (identifiés par le préfixe « Pollen_ »). Seule une partie des taxons les plus représentatifs est répertoriée dans le tableau.

Cluster	Individus	Variables caractéristiques
1	Ensemble des échantillons du rucher V Echantillons du rucher ML pour les périodes 15, 16 et 17 (+ 11 ML2 et 28 ML6)	Oleaceae/Plantaginaceae/Lamiaceae/Orchidaceae/Violaceae/Vitaceae/Lythraceae/Fabaceae/ Pollen_Salicaceae/Pollen_Fabaceae/Pollen_Violaceae/Pollen_Plantaginaceae/ Pollen_Lythraceae/Pollen_Hypericaceae
2	Echantillons du rucher ML pour les périodes de 4 à 13 et de 22 à 30 (sauf 11 ML2 et 28 ML6)	Bignoniaceae/Caprifoliaceae/Ericaceae/Tamaricaceae/Asteraceae/Alstroemeriacae/ Papaveraceae/Elaeagnaceae Pollen_Asteraceae/Pollen_Hypericaceae/Pollen_Convolvulaceae/Pollen Lythraceae/Pollen_Malvaceae/Pollen_Verbenaceae
3	Echantillons du rucher ML pour les périodes 1, 2, 3, 18, 19, 20 et 21	Cornaceae/Fagaceae/Pinaceae/Rosaceae/Sapindaceae/Brassicaceae/Juglandaceae/Magnoliaceae Pollen_Cornaceae/Pollen_Magnoliaceae/Pollen_Sapindaceae/Pollen_Rosaceae/Pollen Rhamnaceae/Pollen_Papaveraceae

Le cluster 1 regroupe la totalité des échantillons du rucher V, caractérisés par des familles qui comportent des espèces ligneuses et herbacées dont la famille des Orchidaceae et des Violaceae uniquement inventoriés sur le rucher V. Des échantillons du rucher ML apparaissent également dans ce groupe et ont été prélevés aux périodes 15, 16 et 17 (janvier à mars), en début de saison apicole 2012.

Le cluster 2 regroupe les échantillons du rucher ML pour les périodes 4 à 13 et 22 à 30, soit la période de mai à novembre, en 2011 et en 2012. Ces échantillons sont notamment caractérisés par des familles d'espèces ornementales comme Alstroemeriacae, Elaeagnaceae et par des pollens de familles de plantes herbacées.

Le cluster 3 regroupe les échantillons du rucher ML prélevés en avril et en mai (2011 et 2012). Ils sont caractérisés par des familles d'espèces ligneuses (Fagaceae, Pinaceae, Rosaceae), des familles d'espèces ornementales (Magnoliaceae) mais aussi par Brassicaceae, la famille du colza qui n'a pas été identifiée dans l'aire de butinage du rucher V. Les familles polliniques semblables aux familles végétales sont également caractéristiques de ces échantillons (Figure 63, tableau 49).

Une deuxième analyse a été réalisée sur la base des espèces végétales en fleurs et des taxons polliniques présents dans les pelotes de pollen. Le premier plan factoriel explique 6,62 % de l'inertie totale avec un premier axe comptant pour 3,63 % et un deuxième axe comptant pour 2,99 % (Figure 64).

La faible inertie de l'analyse, malgré une corrélation des données floristiques et des données palynologiques significative mais faible ($RV = 0,28$; $p\text{-value} = 1,62.10^{-78}$), ne permet pas de tirer de conclusion relative à la répartition de nos individus par rapport aux deux types de données. Cependant, le premier axe de l'AFM est corrélé avec les données palynologiques et des données floristiques (coordonnées : 0,82) et le deuxième axe est davantage influencé par les données floristiques (coordonnées : 0,48 pour le pollen *versus* 0,88 pour la flore) (Annexe 15A), ce qui expliquerait la dichotomie « rucher-dépendante » des individus le long du deuxième axe (Figure 64). L'analyse HPCP, n'a pas permis de mettre en évidence cette différenciation dans le cas de nos deux ruchers (Annexe 15B).

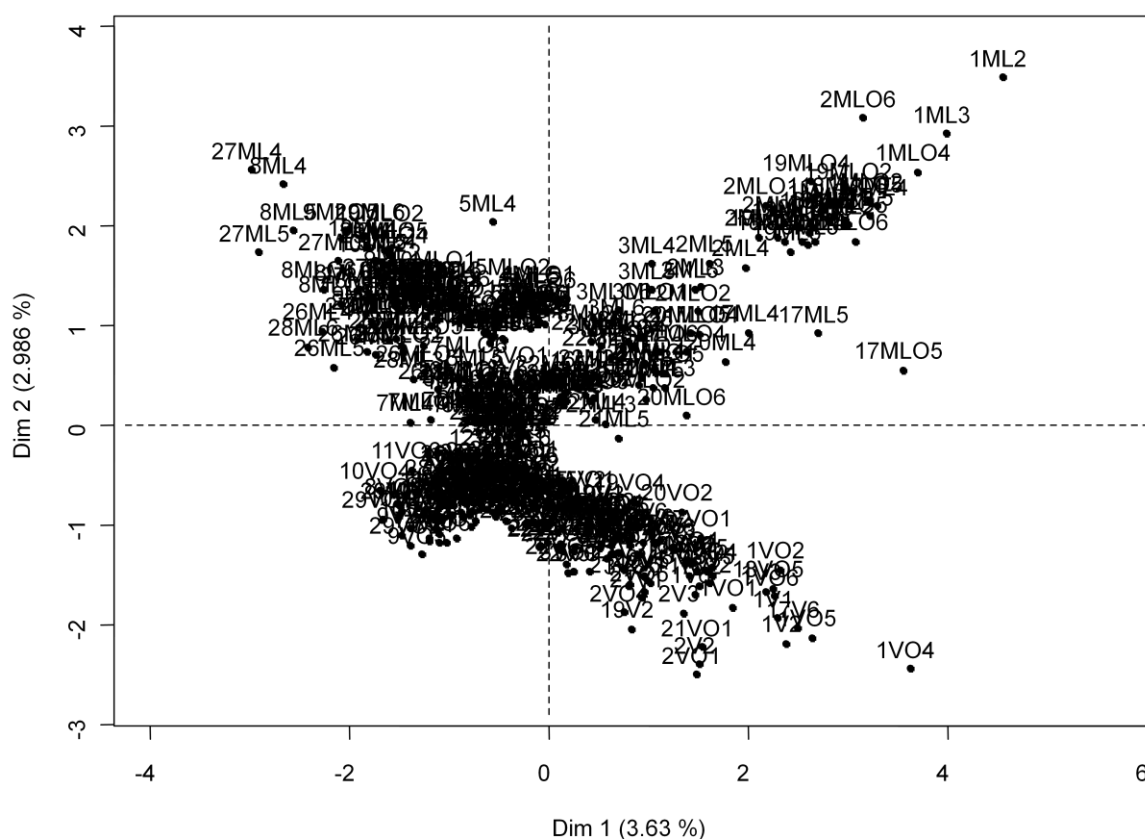


Figure 64. Analyse Factorielle Multiple basée sur les espèces floristiques et les taxons polliniques. Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement – Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie).

Les Analyses Factorielles Multiples couplent les données floristiques et palynologiques, impliquant un nombre de variables plus important avec de nombreuses valeurs nulles, ce qui explique le fait que l'inertie des analyses soit faible. Avec les données à l'échelle de la famille, il semble que les échantillons prélevés en début de saison apicole soient caractérisés par un paysage présentant des espèces ligneuses en fleurs et des pollens issus de ces espèces. Les échantillons du rucher ML semblent être caractérisés, entre autres, par des familles d'espèces ornementales au contraire du rucher V. L'analyse des données à l'échelle des espèces floristiques et des taxons polliniques permet simplement de dissocier les échantillons du rucher ML et du rucher V sans que la classification hiérarchique ne puisse corroborer cet argument. Une analyse plus fine des profils palynologiques au sein de chaque rucher permettra d'affiner les stratégies mises en place pour l'exploitation des pollens.

III.3.1.c. Profils palynologiques et stratégies de butinage

Pour une étude détaillée des ressources exploitées par les abeilles dans les deux aires de butinage durant les deux années 2011 et 2012, il avait été entrepris, au départ, d'établir des profils palynologiques de chaque colonie (locales et d'Ouessant pour chacun des deux ruchers ML et V). L'analyse de l'ensemble des données n'ayant pas mis en évidence de différences significatives entre les colonies locales et les colonies d'Ouessant, le choix a été fait d'établir des profils palynologiques moyens des deux ruchers (i.e. des profils moyens de l'ensemble des colonies pour chacun des deux ruchers ML et V), chaque année. Ces graphiques sont comparables à ceux déjà décrits dans la partie III.2.2.b. *Les taxons polliniques identifiés dans les pelotes de pollen* et présentés en annexes 10 et 11. En comparant les profils palynologiques de ces deux ruchers ML et V aux surfaces fleuries des aires de butinage correspondantes, des stratégies de butinage semblent se dessiner.

Stratégies de butinage des colonies du rucher ML en 2011

Butinage des fleurs cultivées : l'aire de butinage présente des cultures en fleurs durant toute la saison apicole avec des surfaces plus importantes de mai à août (60 à 80 % de l'aire de butinage) (Figure 65E). Les abeilles récoltent du pollen sur ces fleurs cultivées tout au long de la saison apicole (Figure 65B). Le colza, largement cultivé dans l'aire de butinage, n'apparaît que très rarement dans le profil palynologique des colonies du rucher. La récolte en début de saison correspond notamment à du pollen de Brassicaceae mais ce pollen peut également provenir d'espèces sauvages. C'est le cas également en fin de saison pour le taxon Fabaceae, qui peut aussi provenir d'espèces sauvages. En été, là où la récolte de taxons polliniques est la plus forte, la proportion de pollen d'espèces cultivées est bien inférieure à la surface cultivée en fleurs à cette même période de l'année (inférieure à 50 %). Les cultures de céréales comme le blé ne sont pas ou peu visitées par les abeilles alors que leurs surfaces sont importantes au sein de l'aire de butinage. De plus, la présence de cultures porte-graine d'œillet (*Dianthus* sp.) n'est pas retrouvée ou en très petite quantité dans les pelotes de pollen (taxon Caryophyllaceae).

Butinage des fleurs sauvages herbacées : les plantes herbacées sauvages en fleurs sont présentes toute l'année, sur une petite surface d'avril à août, et sur une surface plus importante de septembre à octobre (Figure 65E). Les pollens butinés par les abeilles sur ces plantes sont également présents tout au long de la saison apicole avec un nombre de pollens et une

proportion importante de la fin juillet à la fin septembre (Figure 65C). Ainsi à la fin du mois de juillet et au mois d'août, les espèces sauvages herbacées ne présentent qu'une petite surface qui semble largement exploitée par les abeilles. En revanche l'abondance d'*Origanum vulgare* dans l'aire de butinage semble très peu exploitée (taxon Lamiaceae) par les abeilles.

Butinage des fleurs sauvages ligneuses : l'aire de butinage ne présente qu'une petite surface d'espèces sauvages ligneuses fleuries, principalement en début d'année puis pendant les mois de septembre et d'octobre (Figure 65E). Le profil palynologique montre une exploitation de nombreux pollens issus de ces plantes en début de saison apicole, jusqu'au mois de juin avec l'exploitation massive du châtaignier (Figure 65D). En fin de saison, c'est le Lierre commun (*Hedera*) qui est exploité de façon conséquente par les abeilles.

Butinage des fleurs ornementales : la surface fleurie par les espèces ornementales est faible au cours de la saison apicole mais quelques pollens sont exploités (*Pyracantha*, *Impatiens*) (Figures 65C, D, E).

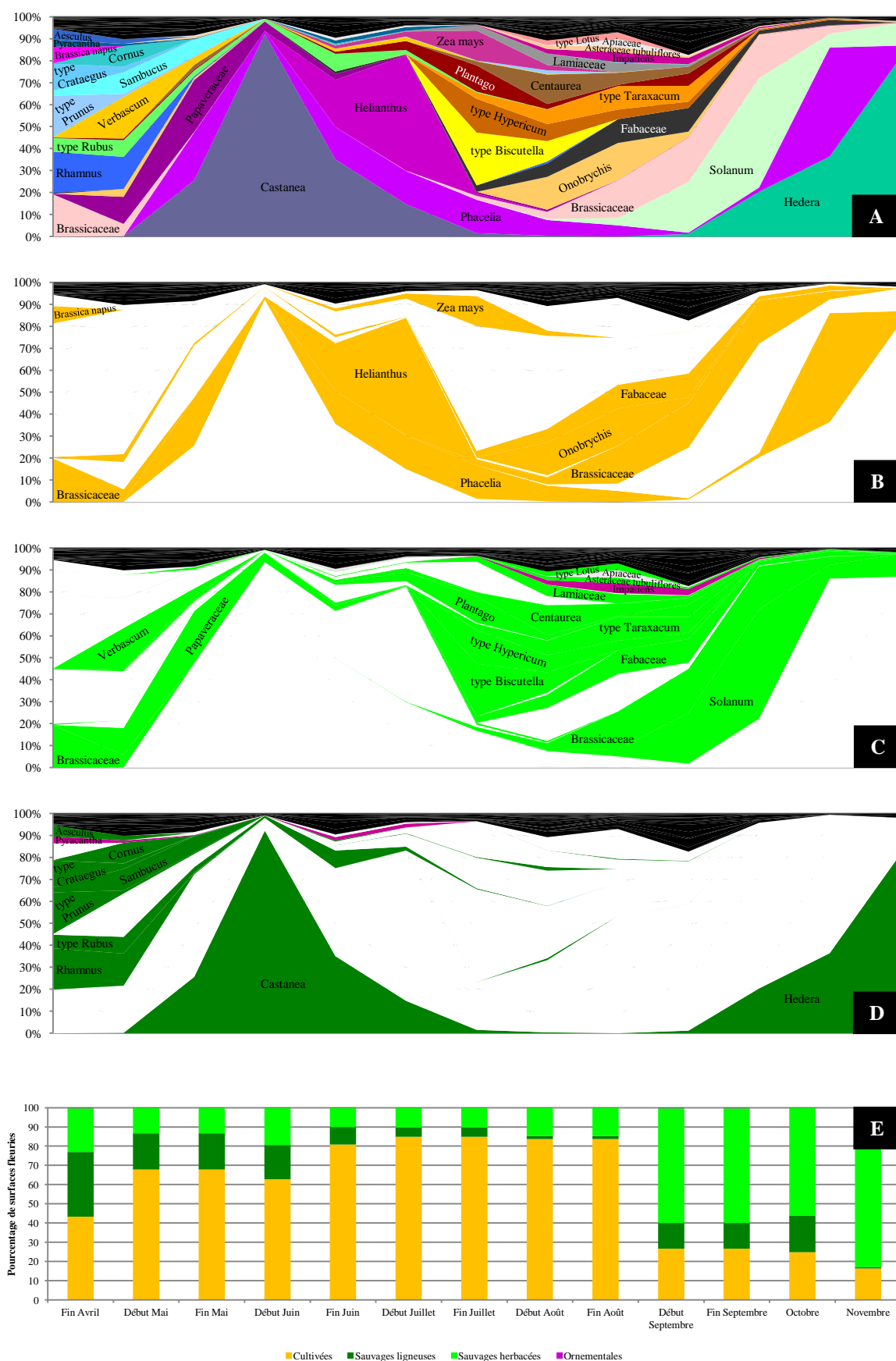


Figure 65. Profil palynologique du rucher ML en 2011 (A = complet, B = pollens provenant d'espèces cultivées, C = pollens provenant d'espèces herbacées et ornementales, D = pollens provenant d'espèces ligneuses et ornementales) et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage (E).

Butinage des fleurs cultivées : l'aire de butinage présente des cultures en fleurs de mars à octobre avec des surfaces plus importantes de mai à août (80 à 90 % des surfaces fleuries) (Figure 66E). Les surfaces fleuries en mars et en avril correspondent principalement aux vergers de pommiers et aux cultures de colza. Les abeilles récoltent du pollen de fleurs cultivées de mars à octobre (Figure 66B). Le colza, largement cultivé dans l'aire de butinage, est très peu représenté dans le profil palynologique où il figure sous le taxon Brassicaceae. De même, la présence de pollen de pommier (taxon Rosaceae), n'a pas été identifiée dans les échantillons de pelotes de pollen à cette période de l'année ou alors en très petite quantité. A l'inverse, le pollen de type *Raphanus*, présent dans les pelotes n'a été que rarement identifié dans l'aire de butinage et ne l'a été qu'en tant qu'espèce sauvage. Le pic d'exploitation du pollen des espèces cultivées apparaît en été bien que la proportion pollinique soit inférieure à la surface cultivée en fleur. En dépit d'une surface très importante de céréales (blé notamment), la proportion de pollen récolté reste faible. Une culture porte-graine d'*Allium* située à proximité du rucher semble avoir été exploitée par les abeilles.

Butinage des fleurs sauvages herbacées : les plantes herbacées sauvages en fleurs sont présentes toute l'année. Elles représentent une surface importante en février, à peine 10 % de l'aire de butinage de mars à fin septembre et une surface moyenne à la fin du mois de septembre et en octobre (Figure 66E). Les abeilles exploitent ces fleurs tout au long de la saison apicole. Le nombre et la proportion de pollens butinés sont plus importants de juillet à septembre alors que la surface occupée par les espèces sauvages herbacées est faible à cette époque (Figure 66C). A l'inverse, malgré une surface fleurie dominante d'espèces sauvages herbacées en février, il semblerait que les abeilles privilégient d'autres espèces considérant que le pollen type *Ranunculus ficaria*, est un des seuls pollens herbacés butinés par l'abeille à la période considérée.

Butinage des fleurs sauvages ligneuses : c'est en mars et en avril que les fleurs sauvages ligneuses représentent une surface fleurie importante (30 %) ; en février, mai et juin elle est de 10 % et à la fin du mois de septembre et en octobre la proportion est de 15 à 20 % de l'ensemble des surfaces fleuries (Figure 66E). Le profil palynologique comporte de nombreux pollens issus de ces espèces du mois de février au mois de juillet (Figure 66D). Bien qu'en février, ces espèces ne représentent qu'une petite surface fleurie, leurs pollens constituent 90 % du contenu des pelotes. En été, peu d'espèces sauvages ligneuses sont en fleurs et peu se

retrouvent dans le profil palynologique. En fin de saison apicole, les abeilles exploitent le pollen *Hedera* de façon massive.

Butinage des fleurs ornementales : la surface fleurie par les espèces ornementales est très faible au cours de la saison apicole mais des pollens tels que *Pyracantha*, *Impatiens*, *Parthenocissus* sont butinés par l'abeille (Figures 66C, D, E).

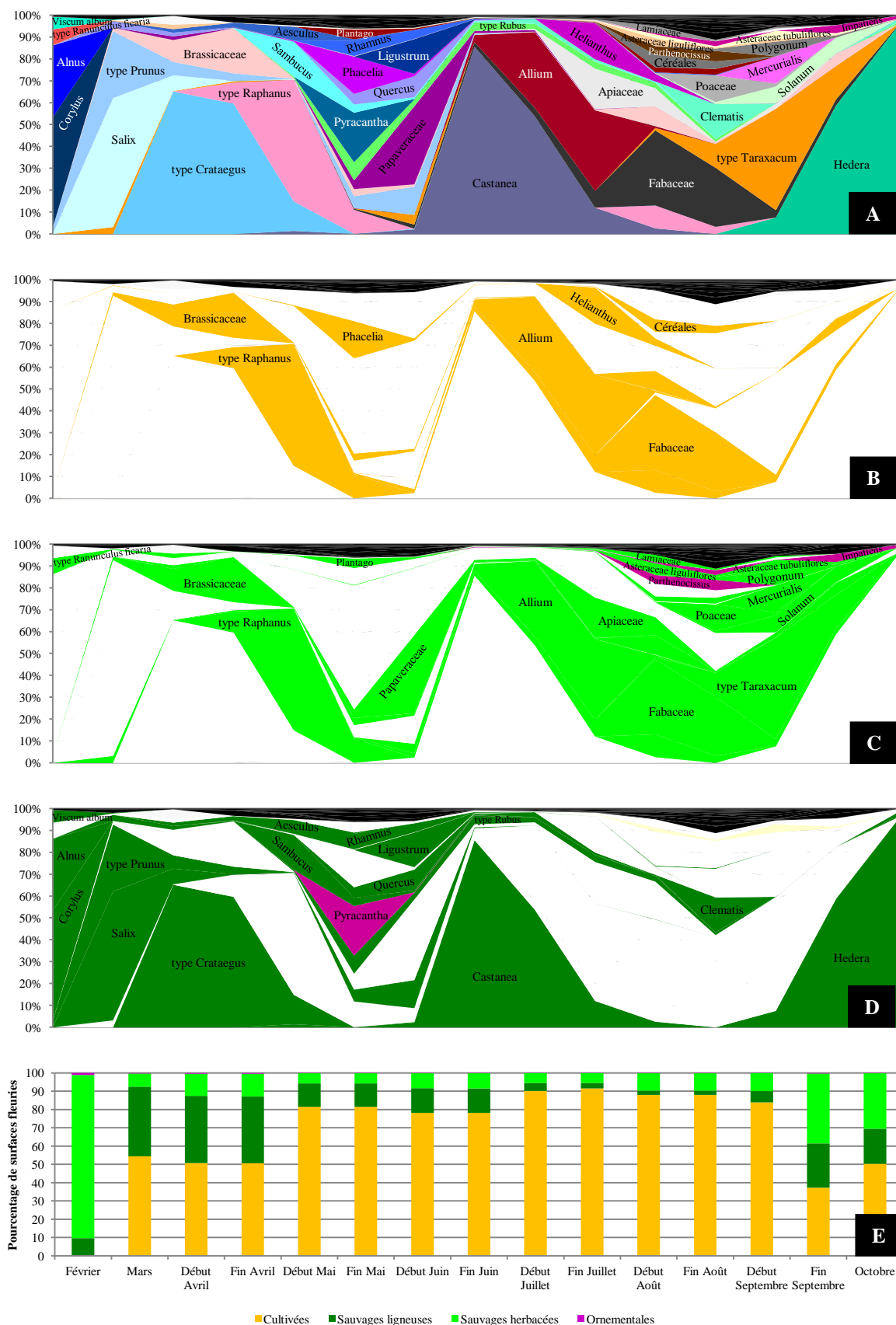


Figure 66. Profil palynologique du rucher ML en 2012 (A = complet, B = pollens provenant d'espèces cultivées, C = pollens provenant d'espèces herbacées et ornementales, D = pollens provenant d'espèces ligneuses et ornementales) et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage (E).

En résumé, au sein du rucher ML, l'abeille privilégie en début de saison apicole les zones boisées et les haies composées d'espèces sauvages ligneuses qui représentent une surface fleurie modérée à petite, à l'échelle de l'aire de butinage. Les vergers et les cultures de colza présentes au sein de l'aire de butinage semblent peu ou pas exploités par les abeilles à cette époque-là. A l'inverse, certains taxons polliniques retrouvés dans les pelotes de pollen ont été peu identifiés au sein de l'aire de butinage étudiée. En été, l'abeille exploite une partie des surfaces cultivées qui sont en fleurs mais aussi de nombreuses espèces sauvages herbacées qui occupent d'abord une surface limitée en début d'été puis une surface plus importante en septembre. En fin d'année, l'abeille n'exploite que peu d'espèces, et essentiellement des espèces sauvages et cultivées. Les espèces ornementales sont également exploitées au cours de la saison apicole mais ces dernières demeurent peu représentées dans les profils palynologiques.

Butinage des fleurs cultivées : l'aire de butinage présente des cultures en fleurs de la fin du mois d'avril (moins de 10 % des surfaces en fleurs) à octobre avec des surfaces plus importantes de mai à août (80 à 90 % des surfaces fleuries) (Figure 67E). Les abeilles récoltent du pollen de fleurs cultivées à partir de la fin du mois de juin jusqu'au mois de novembre (Figure 67B). Une faible proportion de pollen de Brassicaceae a été récoltée en début de saison apicole alors que l'aire de butinage ne présentait pas de culture de colza. A l'inverse, en été, le sarrasin n'a pas été inventorié alors que les données indiquent la présence de pollen de *Fagopyrum* dans les pelotes. En fin de saison apicole, des cultures de moutarde sont en fleurs et les pollens de Brassicaceae dominant dans les pelotes de pollen alors que les surfaces cultivées fleuries régressent à la même période.

Butinage des fleurs sauvages herbacées : presque 100 % des surfaces sont fleuries par des espèces sauvages herbacées en novembre, 40 % à la fin du mois d'avril, en septembre et en octobre et moins de 10 % de mai à août (Figure 67E). Les abeilles exploitent ces fleurs d'avril à mai puis à partir du mois de juillet. Le nombre de pollens différents butinés est important et les proportions de pollen de ces espèces dominant en août et en septembre (Figure 67C).

Butinage des fleurs sauvages ligneuses : les espèces sauvages ligneuses fleurissent en début de saison apicole. Elles représentent près de 50 % de la surface fleurie de l'aire de butinage à la fin du mois d'avril puis moins de 10 % en mai et juin (Figure 67E). C'est entre le mois d'avril et le mois de juin que les pollens d'espèces sauvages ligneuses sont exploités principalement et qu'ils sont dominants dans les échantillons de pelotes alors que les fleurs ne couvrent qu'une petite surface de l'aire de butinage étudiée (Figure 67D). Le pollen de châtaignier est largement exploité et est présent à plus de 80 %, en moyenne, dans les échantillons de pollen. L'exploitation des espèces ligneuses reprend en fin de saison apicole avec la récolte de pollen de lierre alors que la surface fleurie par cette essence est minime.

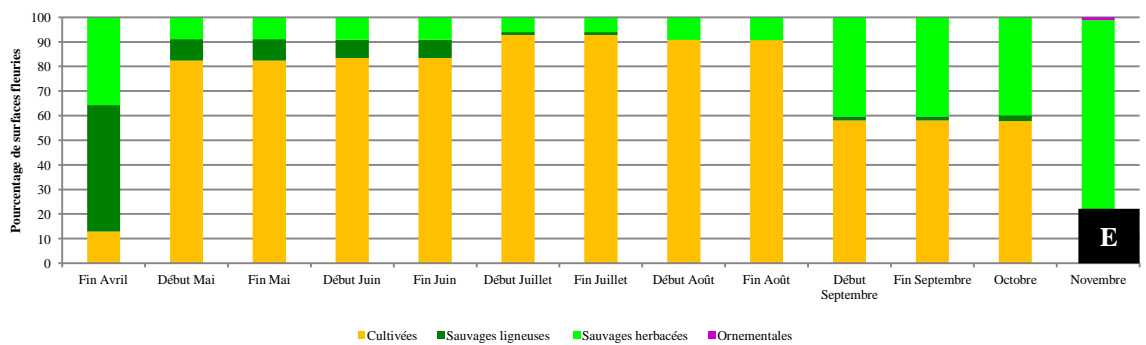
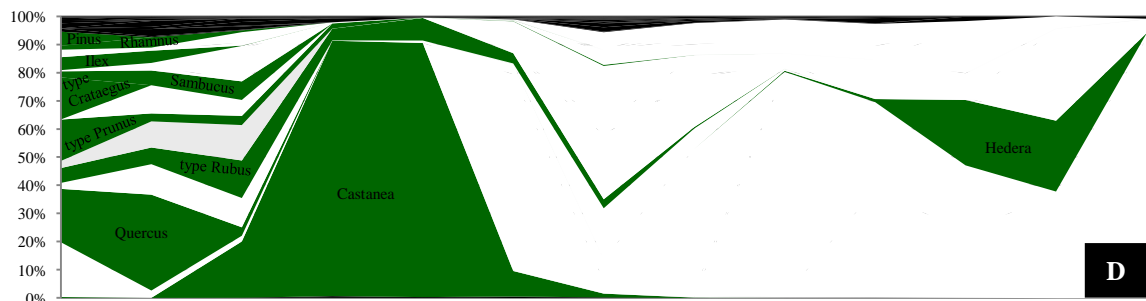
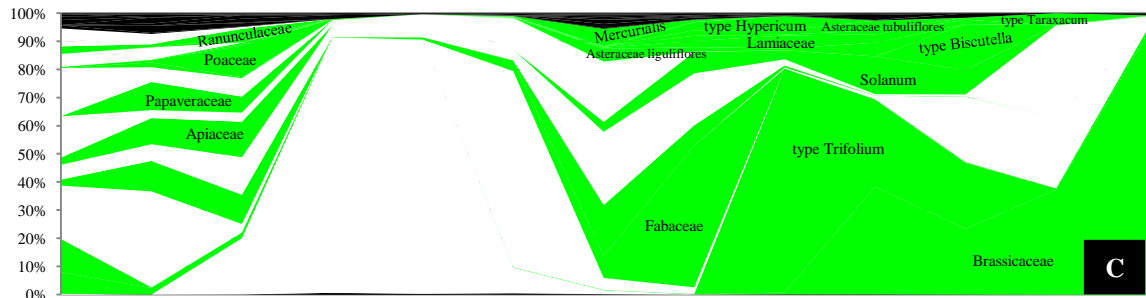
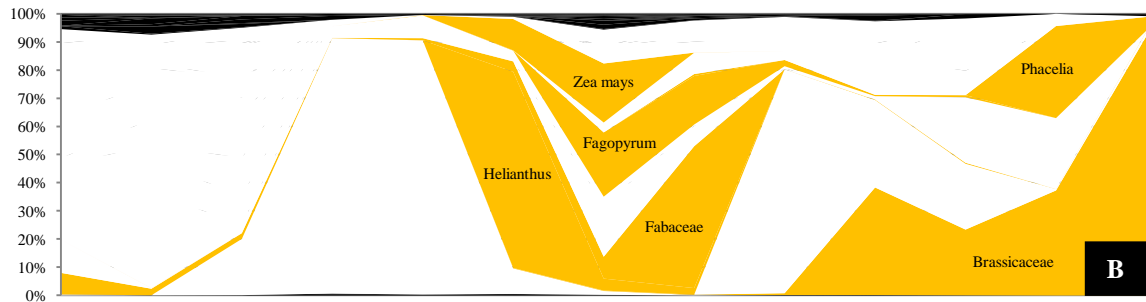
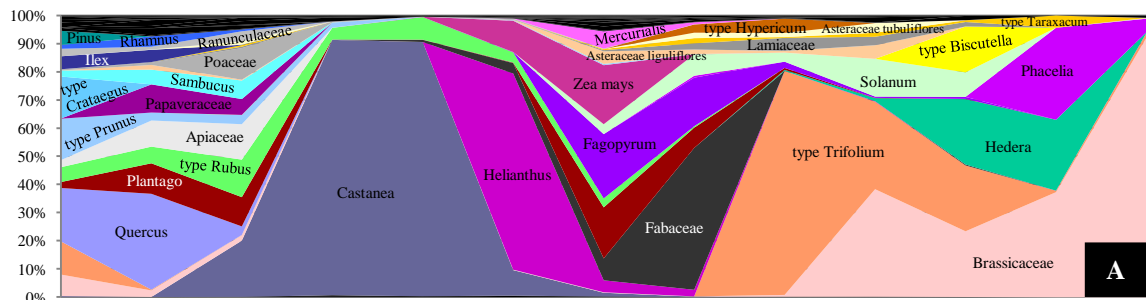


Figure 67. Profil palynologique du rucher V en 2011 (A = complet, B = pollens provenant d'espèces cultivées, C = pollens provenant d'espèces herbacées, D = pollens provenant d'espèces ligneuses) et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage (E).

Stratégies de butinage des colonies du rucher V en 2012

Butinage des fleurs cultivées : comme le montre la figure 68E, l'aire de butinage présente des cultures en fleurs du mois d'avril (moins de 10 % des surfaces en fleurs) à septembre avec des surfaces plus importantes de mai à septembre (80 à 90 % des surfaces fleuries). Les abeilles récoltent du pollen de fleurs cultivées à partir du mois d'avril jusqu'au mois de septembre (Figure 68B). Peu de taxons polliniques sont exploités (*Zea mays* est absent), mais ils le sont dans des proportions parfois importantes (type *Raphanus*, Fabaceae, sachant que ces pollens peuvent également provenir d'espèces sauvages).

Butinage des fleurs sauvages herbacées : de janvier à la fin du mois d'avril, les surfaces fleuries par des espèces sauvages herbacées représentent 30 à 50 % des surfaces fleuries de l'aire de butinage. A partir du mois de mai, cette surface fleurie est très faible sauf à la fin du mois de septembre (20 %) (Figure 68E). Lorsque les surfaces fleuries sont les plus importantes, les abeilles récoltent peu de pollen provenant de ces espèces sauvages. Cette proportion pollinique augmente au mois de mai et plus encore en août et septembre lorsque paradoxalement, les espèces herbacées ne représentent qu'une faible surface fleurie (Figure 68C).

Butinage des fleurs sauvages ligneuses : les espèces sauvages ligneuses fleurissent en début de saison apicole avec une proportion de surface fleurie comprise entre 50 et 70 % par rapport à l'ensemble des surfaces fleuries. A partir du mois de mai, la surface fleurie est très réduite (Figure 68E). De nombreux pollens issus de ces espèces sauvages ligneuses sont exploités de janvier à mai, et en juin le pollen de *Castanea* est dominant dans les pelotes de pollen (Figure 68D). Au mois de septembre le pollen *Hedera* est exploité en petite quantité.

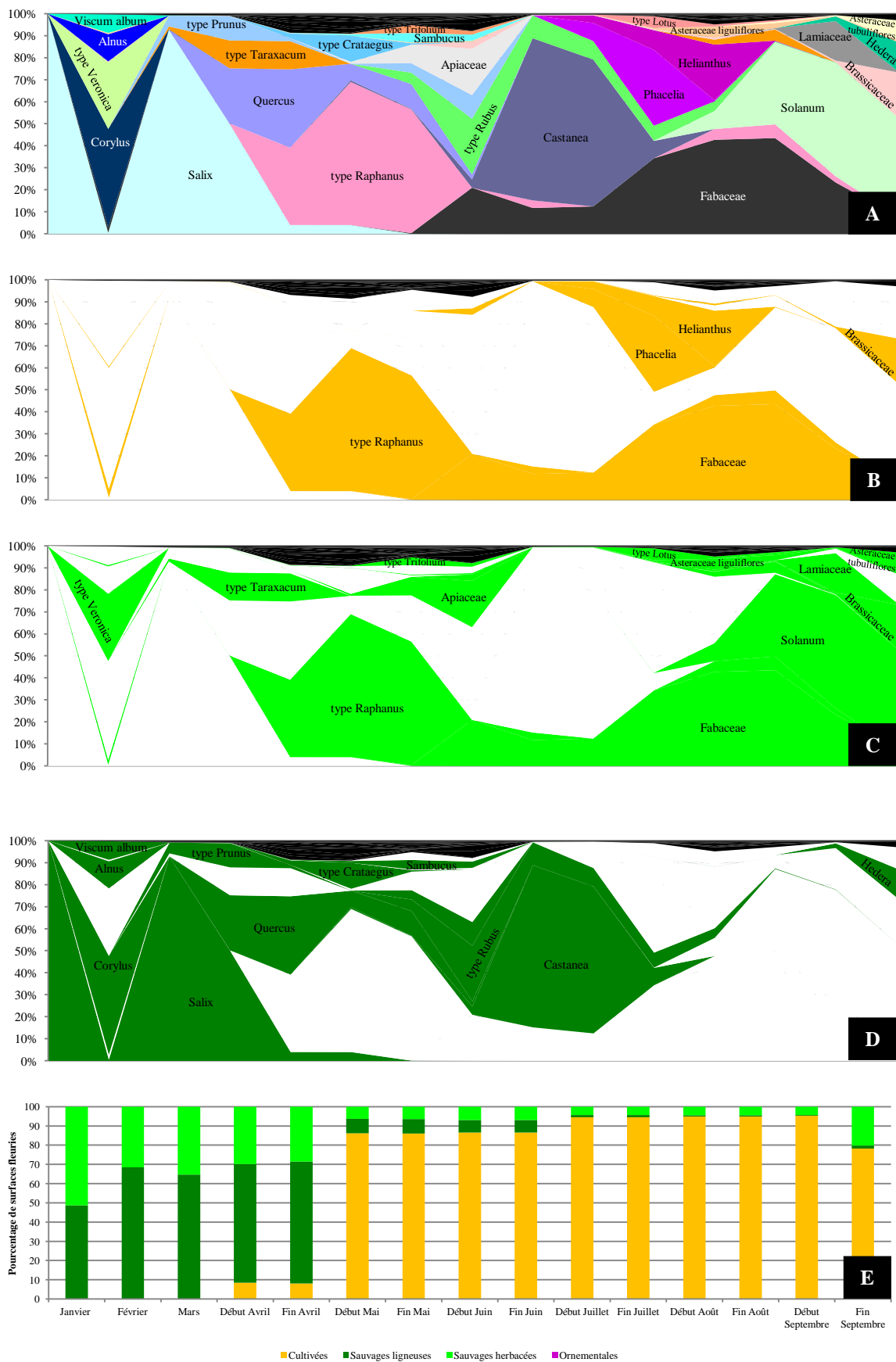


Figure 68. Profil palynologique du rucher V en 2012 (A = complet, B = pollens provenant d'espèces cultivées, C = pollens provenant d'espèces herbacées, D = pollens provenant d'espèces ligneuses) et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage (E).

En résumé, au sein du rucher V, l'abeille privilégie, en début de saison apicole, les zones boisées et les haies composées d'espèces sauvages ligneuses qui représentent une surface fleurie modérée à petite, à l'échelle de l'aire de butinage. L'absence ou la faible abondance de pollen de Brassicaceae ou de *Brassica napus*, en début de saison apicole, dans les pelotes de pollen est en cohérence avec l'absence de cultures de colza dans l'aire de butinage. En été, l'abeille n'exploite qu'une partie des surfaces cultivées qui sont en fleurs. Des espèces comme le maïs, très prégnantes dans l'aire de butinage, s'avèrent être peu représentées voir quasiment absentes dans les pollens alors que d'autres espèces telles que le sarrasin, absent de l'aire de butinage définie, se retrouvent dans les échantillons. L'abeille exploite aussi de nombreuses espèces sauvages herbacées qui représentent une surface fleurie limitée. En fin d'année, l'abeille exploite peu de plantes, qu'il s'agisse d'espèces sauvages ou cultivées.

Les stratégies de butinage de l'Abeille domestique et l'exploitation des ressources pollinifères par les abeilles du rucher V en 2012 ont fait l'objet d'un article publié dans la revue **International Journal of Current Research 6 : 6699-6709** (Piroux *et al.*, 2014b) et présenté ci-dessous. Le choix de privilégier les données cumulées de cinq colonies issues de ce rucher a été motivé par :

- son implantation dans un paysage de grande culture plus typique avec peu de surfaces urbanisées contrairement au rucher ML (Piroux *et al.*, 2014a),
- les données de l'année 2012, qui s'étalent sur une plus grande échelle de temps,
- et les cinq colonies locales (V1, V2, V3, V5 et V6)¹⁹, qui étaient déjà présentes au début de l'étude et qui n'ont pas eu à s'adapter à un nouvel environnement comme ce fut le cas pour les colonies originaires d'Ouessant (colonies VO).

¹⁹ Les colonies V1, V2, V3, V5 et V6 sont identifiées respectivement dans l'article A, B, C, D, E.

A COMPARISON BETWEEN PLANT COMMUNITY COMPOSITION AND BOTANICAL SPECIES GATHERED BY HONEY BEES IN A CULTIVATED LANDSCAPE OF WESTERN FRANCE

^{1,4}Piroux Mélanie, ²Thorin Chantal, ³Farrera Isabelle, ¹L'Hostis Monique,
^{4,5}Vignes Bernard, *¹Lambert Olivier

¹LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, Plateforme Environnementale Vétérinaire, Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes des Pays de la Loire (CVFSE), Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, 44307 Nantes, France

²LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, Unité de Statistiques, Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, 44307 Nantes, France

³Montpellier SupAgro Unité d'Expertise 3P « Phytoprotection, Pathologie des abeilles, Palynologie », Domaine de la Valette, 900 rue JF Breton, 34090 Montpellier, France

⁴Clermont Université, Université Blaise Pascal, Laboratoire « Microorganismes: Génome et Environnement », BP10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

⁵CNRS, UMR 6023, LMGE, 24 Avenue des Landais, BP 80026, 63171 Aubière, France

*Corresponding author: LUNAM Université, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique, Plateforme Environnementale Vétérinaire, Centre Vétérinaire de la Faune Sauvage et des Ecosystèmes des Pays de la Loire (CVFSE), Atlanpole-La Chantrerie, CS40706, 44307 Nantes, France olivier.lambert@oniris-nantes.fr

RESUME

Les inventaires botaniques ont été réalisés sur 1,5 km de rayon autour d'un rucher en paysage de grandes cultures dans le nord-ouest de la France. Les analyses palynologiques ont été faites sur des pelotes de pollen récoltées sur 5 colonies du rucher pendant un an. Les espèces des inventaires botaniques et leurs phénologies ont été analysées et comparées aux taxons identifiés dans les pelotes de pollen. L'aire de butinage a été caractérisée par un paysage de grande culture avec une faible variabilité des espèces cultivées et une grande diversité des espèces sauvages dans les prairies, les fossés, les bords de route, les bois, les bosquets et les haies. Les analyses palynologiques comportent de nombreux pollens de plantes sauvages tout au long de l'année avec une prédominance des espèces ligneuses en début de saison apicole. Les pollens issues d'espèces cultivées apparaissent à partir du mois d'avril et sont ponctuellement abondants mais peu diversifiés. L'analyse de l'ensemble des données indique qu'un maintien d'une richesse et d'une diversité importante des espèces fleuries pendant la saison apicole et plus particulièrement la préservation des habitats naturels et pérennes, peuvent être cruciaux pour fournir les colonies d'abeilles avec des ressources polliniques suffisantes en paysage agricole.

Mots clés : *Apis mellifera*, aire de butinage, occupation du sol, espèces végétales, profils palynologiques

ABSTRACT

Botanical inventories were performed in a 1.5 km-radius area around an apiary in a cultivated landscape in North-Western France. Palynological analyses were performed on pollen pellets collected from five colonies of the apiary during one year. Species and phenology of field-inventoried plants were analyzed and compared against the taxa identified in the pollen pellets. Foraging area was characterized by a large cultivated landscape with little -variability in cultivated species and broadly-diverse wild species in grasslands, ditches, roadsides, woods, copses and hedgerows. Palynological analyses found numerous wild-plant pollens throughout the year, with woody perennials predominant at the start of the beekeeping season. The pollens from cultivated species appeared from April and were abundant in spots but little diversified. Taken together, the data indicates that maintaining a high richness and diversity of flowering species over the beekeeping season — which means preserving perennial and natural habitats — may be crucial to provide honeybee colonies with sufficient pollen resources in rural landscapes.

Keys words: *Apis mellifera*, foraging area, land cover, botanical species, palynological profiles

INTRODUCTION

Recent decades have witnessed unprecedented colony losses in Europe and North America (Aizen & Harder, 2009; vanEngelsdorp & Meixner, 2010). These losses are thought to be driven by a number of causes — (i) infection by pathogens (Guzmán-Novoa *et al.*, 2010; Higes *et al.*, 2010), (ii) poisoning by chemical compounds (Mullin *et al.*, 2010; Henry *et al.*, 2012) and (iii) profound changes in landscape structure and composition induced by agricultural production methods, technological advances and government policies (Burel & Baudry, 1990; Macdonald & Johnson, 2000; Robinson & Sutherland, 2002). Moreover, recent studies suggest that these biological, chemical and environmental stressors can interact and combine to negatively affect honey bee survival and colony health (Alaux *et al.*, 2010; Vidau *et al.*, 2011; Pettis *et al.*, 2012). Note how modern agriculture is involved in two of these three stress factors. Agricultural intensification has affected land-use patterns and thus shaped landscape structure and composition through major changes, typically increased field sizes (Baessler & Klotz, 2006) with a fragmentation of uncultivated features like forests or hedgerows (Burel & Baudry, 1999), and thus strong decline of natural meadows (Monteiro *et*

al., 2011) with losses of semi-natural elements (Agger & Brandt, 1988). These shifts have been accompanied by increased use of chemical inputs (Robinson & Sutherland, 2002; Baessler & Klotz, 2006), including pesticides, with worldwide production multiplied by a factor of ten from 1955 to 1995 (Carvalho, 2006). In France, volumes of pesticides sold have stabilized since 2000 and are currently on the decrease, but the market continues to be flooded with new molecules that are more effective and used at lower doses (Bonnefoy, 2012). These molecules, like all herbicides, are a strong driver of loss of plant diversity (De Snoo & Van der Poll, 1999). Finally, like the widespread use of chemicals, widespread changes in land cover and land-use patterns contribute to an overall homogenization of landscape and vegetation. Many authors have shown how decreasing landscape heterogeneity can dramatically affect on biodiversity through rarefaction of suitable habitats and food resources for many wild species (Robinson & Sutherland, 2002; Benton *et al.*, 2003; Carvell *et al.*, 2007). Wild bees, particularly honey bees and their colonies, are especially vulnerable to such landscape structure and composition changes (Holzschuh *et al.*, 2007; Le Féon *et al.*, 2010; Potts *et al.*, 2010).

Flower richness and abundance and pollen quality are crucial to honey bee food balance and colony health through inputs of pollen molecules that the insect cannot directly synthesize (Louveaux, 1958; Hügel, 1962; Decourtye *et al.*, 2010; Di Pasquale *et al.*, 2013). Low resource quality and quantity, especially pollen resources, is cited as a cause of decreased brood sizes and impaired colony development (Crailsheim *et al.*, 1992; Alaux *et al.*, 2010; De Grandi-Hoffman *et al.*, 2010). To our knowledge, few studies have examined pollen resources exploited by honey bees in rural landscapes (Severson & Parry, 1981; Frankl *et al.*, 2005; Oldroyd, 2007). The objectives of the present study were (i) to define the floristic potential of a foraging area characterized by agricultural practices, (ii) to monitor foraging strategies at both colony scale and apiary scale through pollen pellets analysis, and (iii) to determine the share of cultivated and wild pollens in gathered food resources in order to highlight valuable plants for honey bee colonies in a cultivated landscape context.

MATERIALS AND METHODS

Sampling site and landscape description

This study was performed in 2012 on five honey bee colonies from a sedentary apiary located in Western France (Region of Pays de la Loire, Vendée). The land cover and botanical inventories were performed directly in the field, in a circular 1500 m radius around on the apiary corresponding to an area of 707 ha. The literature suggests that mean foraging distance

is roughly 1500 m (Villanueva, 2002; Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003) with variability linked to resource type (nectar, pollen, water) season, and location (Visscher *et al.*, 1996; Beekman & Ratnieks, 2000). Plant inventories were performed on landscape entities in the foraging area, on each plot or each linear (hedgerows, boundaries...) where the vegetation was homogeneous. Botanical inventories were performed in representative quadrates of entities, with plants listed and characterized by abundance/dominance index (Braun-Blanquet system; Poore, 1955) and phenological features (floral buds, flowering, fruiting). Sets of inventories were realized over the entire foraging area every two weeks over the whole beekeeping season from February to September.

Biological matrices

Samples of pollen pellets were collected from 5 beehives identified as A, B, C, D and E. The samplings were performed once per month from February to March 2012 and twice per month from April to September 2012. The pollen pellets were harvested on the full floor of the hive located below a wire-mesh floor. This system allowed continuous collection of pollen pellets over a one-month period or a fifteen-day period. Fourteen successive samples of pollen pellets were ultimately collected for each colony. Field-collected samples were immediately placed in ice and stored in a standard freezer at -20°C until analysis. Palynological analyses of pollen pellet samples were performed by Montpellier SupAgro Palynology Unit (France) according to the standard European method (Von der Ohe *et al.*, 2004). Pollens were identified at the various taxonomic levels (family, genus or species) according to pollen grain, and then quantified.

Data processing and statistical analyses

To determine available pollen resources, surface occupied by each inventoried plant was measured via a two-step method. First, the abundance/dominance scores of each plant present in quadrats were converted into cover percentages, considering the central values of the cover range as ordinal scores (Baudière & Serve, 1975). Second, the cover percentages were used to estimate the area of each species in the quadrat, then in homogeneous entity, and finally in the foraging area. To compare the botanical data and the palynological data, we transformed the floral species identified in the foraging area according to the taxa identified in pollen pellets. Precision of pollen determination and taxonomic level is known to vary with type of pollen. To compare quantities of resources available (flowering plants) and resources exploited (palynological data), some species were regrouped in a same genus or family.

Species richness and diversity index were evaluated for species and taxa from botanical and palynological data. Diversity indexes were calculated using Shannon's formula

$$H_s = - \sum p_i \ln(p_i)$$

where "i" refers to a species (or a taxa) and $p_i = \frac{n_i}{N}$ with n_i the number of individual species (taxa) and N the overall number of individuals for all species (taxa).

A Spearman's test was used to analyze the correlation between richness of botanical and palynological data.

We then performed a multivariate method called Multiple Factorial Analysis. MFA is designed for the analysis of datasets in which individuals are described by several sets of variables. MFA was carried out as follows: an individual was a colony (described by a capital letter) for a fixed period (number 1 corresponds to February, 2 to March, 3 to 1st half of April, 4 to 2nd half of April...and so on until 14 for the 2nd half of September), pollen taxa formed the first set of variables and botanical taxa formed the second set of variables.

This made it possible to analyze the relationships between (i) quantitative plant profiles in the pollen pellets as exploited resources and (ii) quantitative flowering plant profiles as available resources in the selected foraging area. Botanical taxa and pollen taxa were included as active variables whereas of sampling period was included as a supplementary variable. Managed as a factor analysis, MFA results were co-ordinates, with contribution of initial variables and individuals given for each axis. The common inertia of the two sets of variables was given by the Lg coefficient. The conjunction between botanical taxa and palynological taxa was described by the RV coefficient, with values ranging from 0 (lack of conjunction) to 1 (strong conjunction). Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC) was used to cluster the individuals according to pollen and botanical traits. The statistical analyses were performed with R software (R Development Core Team, 2010) using the FactoMineR 1.16 package (Husson *et al.*, 2007).

RESULTS

Foraging area description

The apiary was located in a rural landscape with a large cultivated area (49% of foraging area) (Tab 1) mainly characterized by grain crops and forage crops (respectively 83% and 9%). Protein-rich crops (5%), oil-rich crops (1%) and permanent crops (less than 1%) were a minority. Grassland cover was 22% of foraging area. Woods and copses or urban area

occupied less than 10% of foraging area. Length of the hedgerow network was 31 m/ha and length of ditches and roadsides was 32 m/ha. The main species in woods, copses and hedgerows were perennial species present year-to-year. A share of the species present in the grasslands was also found in ditches and roadsides. The species present in urban areas were mainly ornamental species.

Table1. Composition and structure variables of the studied apiary foraging area, giving the main species for each variable.

Variables	Apiary foraging	Species
Cultivated area (ha)	346.48	–
<i>Grain crops</i>	289.09	<i>Triticum sp.</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Secale cereale</i>
<i>Oleaginous crops</i>	3.41	<i>Helianthus annuus</i>
<i>Proteaginous crops</i>	18.72	<i>Pisum sativum</i> , <i>Phaseolus sp.</i>
<i>Forage crops</i>	31.65	<i>Medicago sativa</i> , <i>Lolium perenne</i>
<i>Permanent crops</i>	1.27	<i>Vitis vinifera</i> , <i>Malus domestica</i>
<i>Others</i>	2.34	–
Grassland (ha)	156.05	<i>Anthoxanthum odoratum</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Trifolium repens</i>
Wood and copse (ha)	42.46	<i>Quercus sp.</i> , <i>Populus sp.</i> , <i>Alnus glutinosa</i>
Water area (ha)	25.02	–
Urban area (ha)	56.11	<i>Prunus sp.</i> , <i>Rosa sp.</i>
Other (ha)	80.88	–
Hedgerows (m/ha)	31	<i>Quercus sp.</i> , <i>Rubus sp.</i> , <i>Prunus spinosa</i>
Ditches and roadsides (m/ha)	32	<i>Urtica dioica</i> , <i>Trifolium repens</i> , <i>Taraxacum officinale</i>

Looking at percentage of flowering surface (Fig 1), the flowering taxa from woods, copses and hedgerows had stronger presence at the beginning of the beekeeping season. Species from grasslands, ditches and roadsides had stronger presence at the beginning and at the end of the beekeeping season. Cultivated species were dominant from late April to late August.

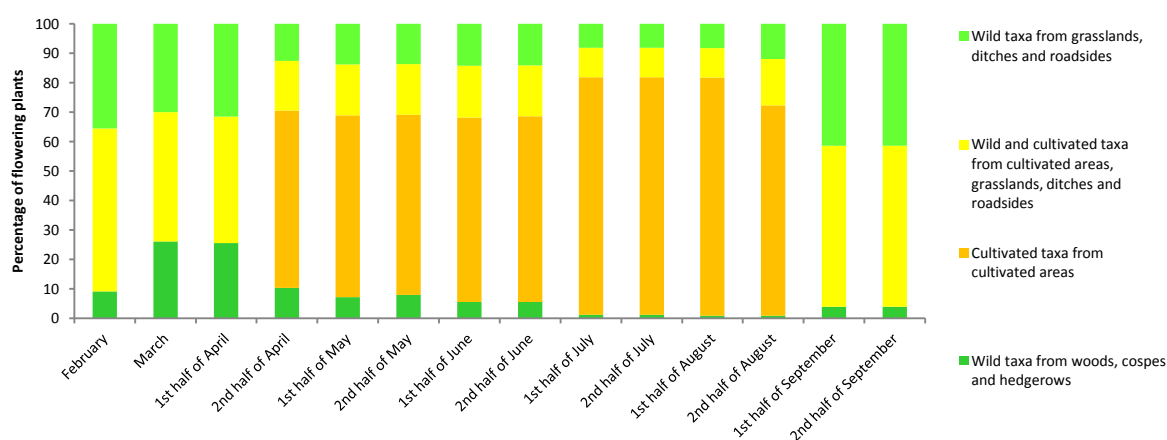


Figure 1. Percentage of flowering plants present in the main land-cover components over the beekeeping season.

Fifty-four families and 167 species of plants were identified in the foraging area, with 8 ornamental species, 13 cultivated species and 146 wild species (87% of all species identified in the foraging area).

At the beginning of the season, from February to March, prominent flowering taxa were wild perennial species such as *Quercus* sp., *Populus* sp., *Alnus glutinosa*, *Fraxinus* sp., or *Corylus avellana*. The cultivated taxa *Triticum* sp. covers the largest area at mid-season (from April to June). In parallel, many perennial species qualifying as permanent crops (*Vitis vinifera*) or wild or ornamental plants (*Ligustrum vulgare*, *Prunus* sp., *Crataegus monogyna*, *Castanea sativa*, *Sambucus nigra*, *Robinia pseudo-acacia*) were well represented. Later in the season (from July to September), the flowering plants identified were wild perennial or non-perennial species such as *Trifolium* sp., *Rubus* sp., *Hedera helix*, *Epilobium hirsutum* or *Lythrum salicaria* and the cultivated species *Helianthus annuus* and *Zea mays*. Some flowering taxa such as *Poaceae*, *Fabaceae*, *Taraxacum* sp., *Ranunculaceae*, *Plantago* sp., *Asteraceae*, *Brassicaceae* or *Lamiaceae*, were present throughout the season.

Palynological data

In total, 89 different pollens were identified in pollen pellets and distributed in 51 families. Each colony from the studied apiary gathered pollens from plant species occurring in the same nearby environment, but the five palynological profiles (resources exploited by honey bees throughout the beekeeping season in terms of quality and quantity) were not strictly identical (Appendix A). As expected, many taxa were common to all five honey bee colonies and included *Corylus*, *Salix*, *Taraxacum*, *Prunus*, *Quercus*, type *Raphanus*, *Castanea* or type *Rubus*. This similarity was strictly qualitative, since quantities of shared pollens differed according to colony. Colony-specific palynological profiles were significantly clearer on the basis of minor pollens, i.e. identified in small quantities (< 15% representativity in the palynological profile; Louveaux, 1978). Moreover, some taxa were found in only one colony, such as *Calystegia*, *Cannabaceae*, *Epilobium*, *Ericaceae* or *Hedera* or in some colonies, such as *Fraxinus*, *Genista*, *Lythrum*, *Pinus*, type *Veronica*.

A synthetic palynological profile was established from pollens gathered by the five colonies to provide a general overview of plants exploited by honey bees within the studied 707-ha foraging area. The graphs (Fig 2A and 2B) depict the average of the different palynological resources gathered by the five colonies during the brunt of the beekeeping season (February–late September) in North-West France.

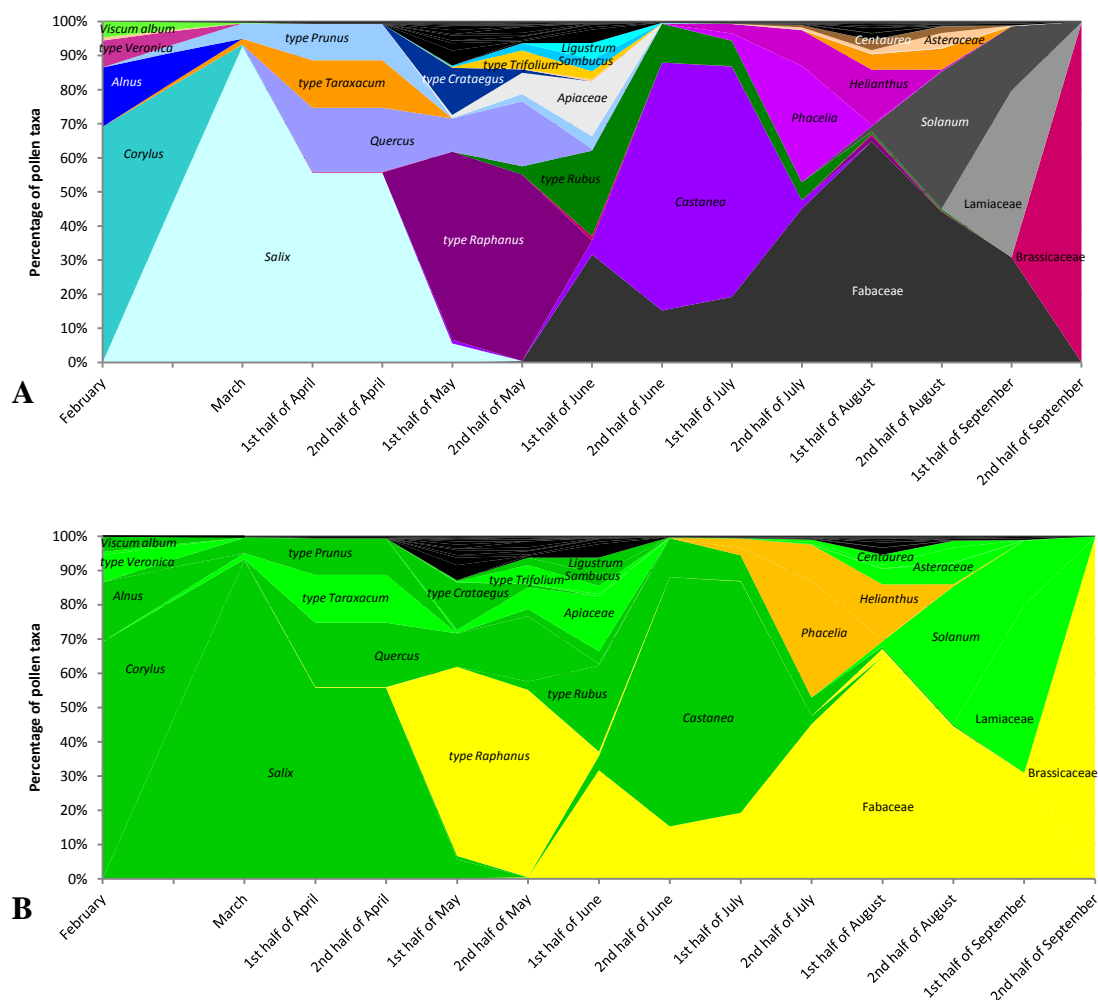


Figure 2. Palynological profile of pellet pollens gathered by five honey bee colonies over the 2012 beekeeping season. **A:** Annotated pollen taxa annotated and distinguished by distinctive high-contrast color codes. **B:** Pollens collected from wild perennial plant species colored in dark green, wild herbaceous plant species colored in light green, cultivated species colored in orange, and both wild and cultivated species colored in yellow. Pollen taxa with relative proportions below 5% are colored in black at the top part of the graphs.

The synthetic profile showed that wild species were continuously gathered throughout the beekeeping season (from February to September) whereas gathering of cultivated pollen species were intermittently gathered from April to the end of the beekeeping season (Fig 2A). The origin of some taxa such as *Fabaceae*, type *Raphanus* or *Brassicaceae* comprising either wild or cultivated species could not be determined by palynological analyses. From the early beekeeping season until July, the honey bees clearly gathered wild species including several perennials such as *Salix*, *Corylus*, *Alnus*, *Quercus*, type *Crataegus*, type *Rubus* or *Castanea* (Fig 2B). From July to September, pellets featured higher proportions of pollens from cultivated plants. During the 2nd half of July, more than 50% of gathered pollen originated from cultivated plants (*Phacelia*, *Helianthus* and potentially *Fabaceae* or *Brassicaceae*).

These species represented more than 15% of pollen gathered during the 1st half of August. Wild herbaceous (*Asteraceae*, type *Taraxacum*, *Lamiaceae* or *Centaurea*) taxa were also found, but in much lower quantities. *Zea mays* was identified in palynological profiles from July to September, but quantity of pollen was less than 1% of total pollen sample.

Flowering species *versus* pollen pellets gathered by honey bees

There was strong discrepancy between the botanical taxa (flowering taxa available in the foraging area) and pollen taxa gathered by honey bees (Fig 3).

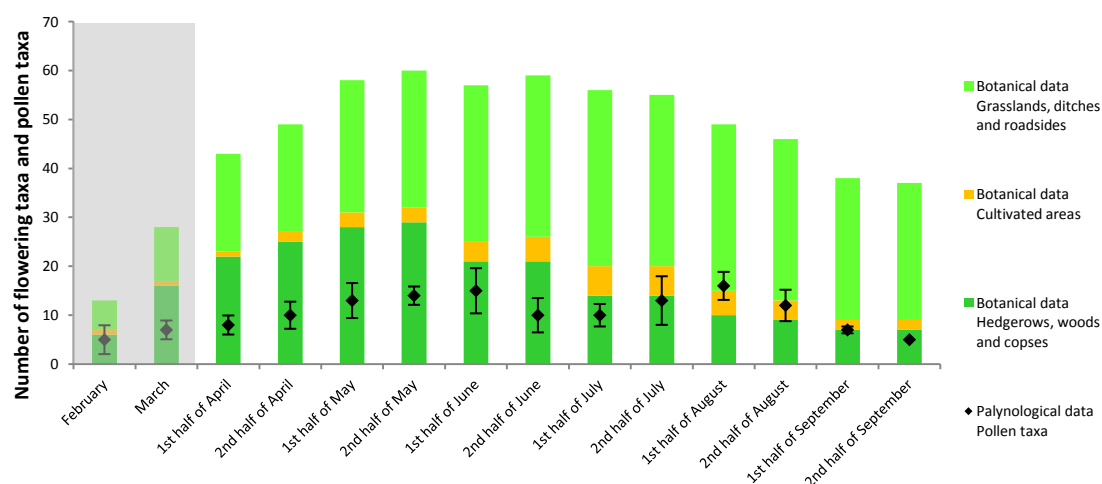


Figure 3. Number of botanical resources (flowering taxa) present in the different categories of land cover and the average number of pollen taxa identified in the colonies during the beekeeping season. The grey area symbolizes the change of timescale.

The number of flowering species was more important than the number of pollens gathered by honey bees. . The correlation between the two datasets was significant (Spearman test: $S=16146.31$, $p\text{-value}=4.98 \cdot 10^{-6}$, $\rho=0.55$). Botanical species richness rose to a peak in May (max=60 flowering species) and June (max=59 flowering species) and then decreased to the end of the beekeeping season. Likewise, the average number of pollen taxa rose to a peak in the 1st half of June (max=22 taxa in a palynological profile) and August (max=20 taxa in a palynological profile) and then decreased. Between these two periods, number of pollen taxa was lower (min=5 taxa in a palynological profile) and was similar to the number of pollen taxa identified during the 2nd half of April.

Diversity of flowering species was maximal in May and June, in the spring and during the 2nd half of September (Tab 2). Flowering diversity was low at the beginning of the beekeeping season and during August and the 1st half of September. At the same time, diversity of pollen taxa was maximal in May and the 1st half of June but had already tailed off in the 2nd half of

June. Pollen diversity was also low at the very beginning and the very end of the beekeeping season.

Table 2. Diversity (Shannon index) of flowering species and pollen taxa during the beekeeping season.

	Flowering diversity	Palynological diversity
February	0.33	0.95
March	0.77	0.34
1st half of April	1.02	1.22
2nd half of April	1.07	1.22
1st half of May	1.79	1.66
2nd half of May	1.79	1.63
1st half of June	1.78	1.99
2nd half of June	1.78	0.81
1st half of July	1.52	1.02
2nd half of July	1.52	1.36
1st half of August	1.02	1.36
2nd half of August	1.02	1.29
1st half of September	0.91	1.11
2nd half of September	1.82	0.03

Some species exploited by honey bees were found in the palynological profiles but not inventoried in the field, such as type *Raphanus*. At the same time, there were some species identified in-field but not gathered by honey bees, e.g. *Orchidaceae*. The MFA analyzed the link between the flowering species occurring in the foraging area and the families identified in the pollen. Figure 4 shows the first factorial plane of the analysis, which accounted for 17.49% of total inertia.

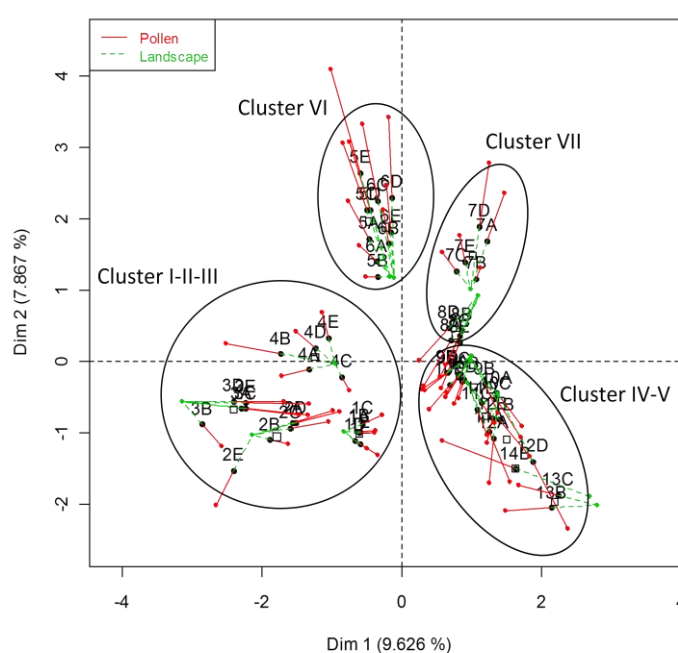


Figure 4. Projections of individuals on the first factorial plane of the Multiple Factorial Analysis. Each point is an individual that represents a colony (described by a letter) for a fixed period (from number 1 to 14 corresponding to February and the 2nd half of September, respectively). Black, green and red points correspond to mean individuals, partial landscape individuals and partial pollen individuals, respectively.

The first MFA axis (Fig 4, Dim 1) was correlated with pollen data (coordinate: 0.73) and botanical data (coordinate: 0.92) and revealed an opposition. Looking at negative coordinate values, there was an association between - flowering perennial species such as *Fraxinus*, *Salix*, *Ulmus*, *Populus*, *Quercus* or even *Alnus*, - pollens gathered from these species (*Salix*, *Quercus* or *Populus*) and – time-periods comprised from February to May (periods 1 to 6). The individuals associated to these pollen and flowering species variables were all five colonies (A, B, C, D, E) for the months of February (period 1), March (period 2) and April (periods 3 and 4). Looking at the positive coordinate values, there was an association between cultivated species like *Helianthus*, *Z. mays* and wild herbaceous species like *Centaurea*, *Trifolium* or even *Asteraceae* and time-periods from June to September (periods 7 to 14). The individuals associated to these taxa were all five colonies for the months of June (periods 7 and 8), July (periods 9 and 10), August (periods 11 and 12) and September (periods 13 and 14).

The second MFA axis (Fig 4, Dim 2) was mainly influenced by pollen data. (coordinate values: pollen data 0.87 versus 0.48 for botanical data). This axis showed an opposition between the botanical taxa such as *Robinia*, *Vitis*, Cereals, *Castanea*, *Ligustrum*, *Sambucus* and the pollen taxa such as type *Raphanus*, type *Crataegus*, *Apiaceae*, *Sambucus* on positive coordinate values and botanical taxa like *Viscum album*, *Fabaceae*, *Poaceae*, *Corylus*, *Hedera*, *Z. mays* or even *Brassicaceae* on negative coordinate values. Despite low values for common inertia (Lg coefficient) and conjunction between the two types of data (RV coefficients), the correlation between botanical data and palynological data remained highly significant (Lg=1.42, RV=0.42, p-value=4.44.10⁻¹³). Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC) grouped the individuals according to pollen and botanical traits (Tab 3).

Table 3. HCPC — the 7 groups of individuals were characterized by pollen traits (“Pollen_” follow-up by the taxa) and botanical traits. Only the most representative taxa are cited in this table. Individual represents a colony for a fixed period.

Cluster	Number of individuals	Individuals	Characteristic variables
I	10	2A-2B-2C-2D-2E 3A-3B-3C-3D-3E	<i>Populus</i> / <i>Ulmus</i> / Pollen_ <i>Salix</i> /Araceae/Lauraceae
II	5	4A-4B-4C-4D-4E	Pollen_ <i>Ranunculus</i> / Pollen_ <i>Quercus</i> /Pollen_type <i>Taraxacum</i> / <i>Acer</i> /Pollen_ <i>Liliaceae</i>
III	5	1A-1B-1C-1D-1E	Pollen_ <i>Corylus</i> / <i>Corylus</i> /Pollen_ <i>Alnus</i> /Pollen_ <i>Viscum album</i> /type <i>Taraxacum</i>
IV	21	8A-8B-8C-8D-8E 9A-9B-9C-9D-9E 10A-10B-10C- 10D-10E 11A-11B-11C-11D 12A-12D	<i>Helianthus</i> / <i>Zea mays</i> / <i>Silene</i> /Sparganiaceae/Pollen_Fabaceae
V	3	13B-13C 14B	<i>Hedera</i> /type <i>Cirsium</i> /Alismataceae/ <i>Epilobium</i> /Dryopteridaceae
VI	10	5A-5B-5C-5D-5E 6A-6B-6C-6D-6E	Pollen_type <i>Raphanus</i> / <i>Acer</i> /Pollen_type <i>Crataegus</i> / <i>Robinia</i> / <i>Ilex</i>
VII	5	7A-7B-7C-7D-7E	Pollen_ <i>Apiaceae</i> /Pollen_type <i>Rubus</i> /Pollen_type Papaveraceae/ <i>Tilia</i> /Pollen_ <i>Ligustrum</i>

Each cluster included the full set of colonies for a same period. Colonies A, B, C, D and E were characterized mainly by perennial resources such as *Populus*, *Ulmus*, *Corylus* or *Acer* from February to June (period 1 to 6), corresponding to clusters I, II, III and VI drawn on the first factorial plane of the MFA (Fig 4). From July to the end of the beekeeping season (periods 7 to 14), the colonies were characterized mainly by cultivated and wild resources such as *Helianthus*, *Z. mays*, *Hedera*, *Silene*, corresponding to clusters IV, V and VII.

DISCUSSION

Land cover analysis on the foraging area revealed a substantial cultivated area (50% of foraging area), a significant fraction of grassland area (25% of foraging area), and a minor hedgerow network. Landscape context for this apiary can thus be characterized as a rural landscape, particularly a cultivated landscape as defined by Michel *et al.* (2007) for Western France areas.

Available flowering species

While cultivated species occupied a large proportion of foraging area land cover, flowering began in April and peaked over the summer months for *H. annuus* and *Z. mays* and concerned a limited number of taxa. These cultivated surfaces could offer honey bees a significant source of potentially exploitable food at specific developmental stages of the colonies (Fewell & Winston, 1992; Dreller & Tarpy, 2000), but they nevertheless represent high-risk areas for honey bees and all pollinators, for several reasons. First, cultivated resources are absent during the first few months of the year that normally coincide with the recovery of beekeeping activity in February and March. During this early-season period, colony development and brood production, which both require protein resources present in pollen (Crailsheim, 1990), cannot rely on cultivated species alone. Second, like most cereals, cultivated species have unattractively low nutritional value (Louveaux, 1958). At worst, cultivated areas represent a desertic resource. Furthermore, systematic weeding of these crops (botanical inventories), likely involving the use of chemical and mechanical treatments, accentuate this poverty of flowering resources (Freemark & Boutin, 1995). In areas covered by these crops, honey bees have to prolong their flight distance to find sufficient food resources, and these constraints can combine to impact not only the lifespan of foraging honey bees but also the efficiency of resource supply and colony growth (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003). This phenomenon may be amplified by current practices such as crop rotation, where an attractive crop may end up getting replaced in subsequent years by crops that will prove of minor interest for honey bees (Hochörl *et al.*, 2012). Third, these cultivated areas are generally monocultures (mono-crops) that thus provide only a uniform resource for honey bees, and thus only a single protein source, which carries risks of dietary deficiencies and food stress (Brodschneider & Crailsheim, 2010). Likewise, in the current agricultural system, cultivated areas feature a low share of self-propagating plants that cannot compensate for the weight of mono-crops (De Snoo & Van der Poll, 1999). Finally, most cultivated areas are routinely exposed to chemical insecticides, fungicides or herbicides used to control pests and protect primarily cultivated botanical species (Mullin *et al.*, 2010; Lambert *et al.*, 2013). Many studies have demonstrated a chronic sub-lethal toxicity of certain molecules for honey bees and colonies (Belzunces *et al.*, 2012; Henry *et al.*, 2012) and highlighted the risks of foraging cultivated areas. The studied foraging area was nevertheless mainly represented by wild plants, which accounted for over 80% of flowered plant species inventoried. Such diversity may constitute a rich and varied resource for honey bees, especially since recorded flowerings go on over the whole February-to-September beekeeping season, even though diversity of flowering species was variable over the season. These wild plants fall into two main groups: (i) the woody perennial plants found in woods, copses and hedgerows, typically

Quercus sp., *Populus sp.*, *Alnus sp.*, or *Prunus sp.*, and (ii) the herbaceous plants present in grasslands, ditches and roadsides, typically *Taraxacum*, *Trifolium*, *Centaurea sp.*, *Asteraceae*. This points to a trade-off between broad time availability on one side but a relatively narrow spatial distribution on the other, since these species are present only in non-croplands, which are poorly represented in cultivated landscapes. Thus potential wild resources in rural landscapes are concentrated in declining fragile areas like grasslands, hedgerows, ditches and roadsides. Indeed, these areas, which might be qualified as “natural” in opposition to cultivated areas, can be maintained while losing all floristic attractiveness due to grazing, grinding or mowing (McLaughlin & Mineau, 1995).

Exploited pollen resources

During the beekeeping season and for the studied apiary, honey bees collected a total of 89 different pollens, from 51 families. The average number of counted taxa in this study varies relatively little during the season (from 5 to 16 taxa) compared to the number of taxa present in the foraging area (from 15 to 59 taxa). Variability in the number of taxa registered in pollen profiles is mainly linked to minor taxa (< 5% of the samples). Beyond number of pollen taxa, type of pollen taxa will change during the beekeeping season according to plant phenology (Sabugosa-Madeira et al., 2008; Aronne *et al.*, 2012; Bagella *et al.*, 2013). In parallel to phenology, the diversity of exploited resources is influenced by several factors, most of which can interact, i.e. floristic attractiveness (Louveaux, 1958), abundance of resources (Suryanarayana *et al.*, 1992) and absence of floristic choice at the beginning or end of the beekeeping season, meteorological conditions, soil quality (Truax *et al.*, 2006), use of chemical soil conditioner or pest control inputs (Billeter *et al.*, 2008), site management (McLaughlin & Mineau, 1995). Assuming that resources exploited by honey bees depend strictly on flowers availability, factors linked to honey bee biology and ecology should also have an influence. First, colony needs evolve with period in the beekeeping season and depend mainly on the intensity of brood rearing (Crailsheim, 1990; Fewell & Winston 1996; Schmickl & Crailsheim 2004; Dreller & Tarpy, 2000). Second, the colony needs a good food balance and good overall health in order for developing and adult honey bees to accomplish physiologically important processes and functions. DeGrandi-Hoffman *et al.* (2010) established a positive correlation between consumed quantity of pollen and development of the hypopharyngeal glands, and Alaux *et al.* (2010) reported that low-diversified feeding was a factor of immunodeficiency for the honey bee. Third, many authors have shown that the honey bee is able to select pollen species according to quality criteria such as the presence of exogenous compounds, i.e. compounds not synthesized by normal honey bee metabolism

(Louveaux, 1958; Hügel, 1962). Palynological profiles point to a high ratio of wild plants. Wild-plant pollens were exploited throughout the beekeeping season and represented the exclusive pollen source until May, as shown for pollens of *Corylus sp.*, of *Salix sp.*, of type *Prunus*, of type *Taraxacum*. Furthermore, pollens from woody perennial plants represented a high proportion of the exploited wild species, with specimens (*Corylus*, *Salix*, *Quercus*, *Castanea*) brought to the hive from February to July. As these woody perennial plants are visibly in flower at this period, they appear particularly attractive for honey bees, probably because their pollen presents a nutritional interest for colony development (Louveaux, 1958). Our results point to an essential role for these landscape components — spanning trees/shrubs, like woods, copses and hedgerows — for the domestic honey bee, especially in cultivated areas (Frankl *et al.*, 2005). Other studies have underlined the importance of these “wild” areas not just for communities of auxiliary insects but also for many of their predators (Hinsley & Bellamy, 2000; Millán de la Peña *et al.*, 2003; Aviron *et al.*, 2005).

These wild areas are all the more important as they are less affected by chemicals and mechanical treatments (Billeter *et al.*, 2008). Other exploited plant resources include herbaceous species found in grasslands, ditches and roadsides. The pollen profiles reveal that these taxa (*Asteraceae*, type *Taraxacum*, *Lamiaceae* or *Centaurea*) are exploited throughout the beekeeping season, but in lower quantity. The patchy distribution of these taxa within the foraging area presumably makes their discovery and harvest more difficult for honey bees. Pollens of cultivated plants were found almost exclusively in summer months (*Helianthus*). When these pollens are harvested, it is mainly in high quantity due to the abundance and concentration of the resource. Palynological profiles did however reveal a low quantity of *Zea mays* pollen, suggesting that despite of a large surface cover of maize crops, the honey bees focused on other pollens presumably more valuable for colony health. The apparent disaffection of honey bees for maize, despite its abundance, may well be due to the fact that the foraging area also featured many plant species that more attractive to the bees as they are known to produce pollen compounds of higher nutritive value for the colony (Pohorecka *et al.*, 2013; Höcherl *et al.*, 2012). These plants may have acted as competitors for *Z. mays* in our study. The low proportion of cultivated plants in the pollen profiles throughout the beekeeping season confirms the crucial role of wild species for colony development and long-term survival, especially communities of pollinators, crop auxiliaries and crop-dependent species (Green *et al.*, 1994; Michel *et al.*, 2006).

Due to limitations of the method used for pollen identification, a few taxa could not be characterized, which means relative proportions of pollens of either wild or cultivated origin could not be precisely determined. Based on comparison of the palynological profiles with available phytosociological data, we infer that most of these pollen taxa (especially *Fabaceae* and *Solanum*) corresponded to wild species, supporting the idea that honey bees privileged native floral resources. A similar and even more pronounced behavior has been reported in the case of wild bee communities in semi-natural habitats associated with intensive farming systems (Rollin *et al.*, 2013). Some species known to be highly attractive to honey bees were not found in this study in either botanical inventories of the foraging area or in pollen profiles. Oilseed rape, for example, is a cultivated plant that is widely exploited as a resource when present in the foraging area (Pierre *et al.*, 1999). If present in the studied foraging area, this species would presumably have compensated for the absence of other cultivated species at the end of spring and thus minimized the importance of wild species during the same period. Conversely, had field conditions made it possible to extend the study to mid-October, the pollen profiles would probably have pointed out a dominance of *H. helix*. Indeed, ivy is the main resource exploited by honey bees at the close of summer and before wintering (Jacobs *et al.*, 2010). In conclusion, this study highlights the necessity of maintaining areas of wild perennial plant species such as woods, copses and hedgerows to ensure sufficiently diverse food resources at the beginning of the beekeeping season when honey bees emerge from wintering and when the colony starts working. Wild perennial species offer food resources that are not just quantitatively more diverse but also qualitatively better (as less treated by chemicals and mechanical means) than field crops (which can also change from year to year) and wild herbaceous species. The results also imply that beekeepers should pay particular attention to the choice of the site for setting up a sedentary apiary in landscapes characterized by agricultural practices. Territorial audits might be envisaged as a valuable tool for this purpose.

Acknowledgements

We thank the beekeepers for their cooperation. This study was supported by the European Union [through the European Agricultural Guidance and Guarantee Fund], the DREAL (Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement des Pays de la Loire), Guerlain SA and GIE LVMH Recherche (France).

REFERENCES

Aizen, M.A. and Harder, L.D., 2009. The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current Biol.*, 19: 1-4.

Agger, P. and Brandt, J., 1988. Dynamics of small biotopes in Danish agricultural landscapes. *Landsc. Ecol.*, 1: 227-240.

Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D. and Le Conte, Y., 2010. Diet effects on honey bee immunocompetence. *Biol. Lett.*, 6: 562-565.

Aronne, G., Giovanetti, M., Guarracino, M.R. and De Micco, V., 2012. Foraging rules of flower selection applied by colonies of *Apis mellifera*: ranking and associations of floral sources. *Funct. Ecol.*, 26: 1186-1196.

Aviron, S., Burel, F., Baudry, J. and Schermann, N., 2005. Carabid assemblages in agricultural landscapes: impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 108: 205-217.

Baessler, C. and Klotz, S., 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 115: 43-50.

Bagella, S., Satta, A., Floris, I., Caria, M.C., Rossetti, I. and Podani, J., 2013. Effects of plant community composition and flowering phenology on honeybee foraging in Mediterranean sylvo-pastoral systems. *Appl. Veg. Sci.*, 16: 689-697.

Baudiere, A. and Serve, L., 1975. Les groupements végétaux du Plade Gorra-Blanc (massif du Puigmal, Pyrénées Orientales). Essai d'interprétation phytosociologique et phytogéographique. *Nat. Monsp.*, sér. Bot., 25: 5-21.

Beekman, M. and Ratnieks, F.L.W., 2000. Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Funct. Ecol.*, 14: 490-496.

Belzunces, L.P., Tchamitchian, S. and Brunet, J-L., 2012. Neural effects of insecticides in the honey bee. *Apidologie*, 43: 348-370.

Benton, T.G., Vickery, J.A. and Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.*, 18: 182-188.

Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., De Cock, R., Diekötter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Le Coeur, D., Maelfait, J.P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M.J.M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Van Wingerden, W.K.R.E., Zobel, M. and Edwards, P.J., 2007. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *J. Appl. Ecol.*, 45: 141-150.

Bonnefoy, N. 2012. Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les pesticides et leur impact sur la santé et l'environnement. Sénat, rapport d'information 42, 348p.

Brodschneider, R. and Crailsheim, K., 2010. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41: 278-294.

Burel, F. and Baudry, J., 1990. Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. *Landsc. Ecol.*, 4: 197-210.

Burel, F. and Baudry, J., 1999. Des paysages passés aux paysages anthropisés actuels, In: Burel, F., Baudry, J., *Ecologie du paysage Concepts, méthodes et applications*. Edited by Lavoisier (Editions Tec & Doc), Paris, pp XVII-XXX.

Carvalho, F.P., 2006. Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environ. Sci. Policy*, 9: 685-692.

Carvell, C., Meek, W.R., Pywell, R.F., Goulson, D. and Nowakowski, M., 2007. Comparing the efficacy of agri-environment schemes to enhance bumble bee abundance and diversity on arable field margins. *J. Appl. Ecol.*, 44: 29-40.

Crailsheim, K., 1990. The protein balance of the honey bee worker. *Apidologie*, 21: 417-429.

Crailsheim, K., Schneider, L.H.W., Hrassnigg, N., Bühlmann, G., Brosch, U., Gmeinbauer, R. and Schöffmann, B., 1992. Pollen consumption and utilization in worker honey bees (*Apis mellifera Carnica*): dependence on individual age and function. *J. Insect Physiol.*, 38: 409-419.

Decourtye, A., Mader, E. and Desneux, N., 2010. Landscape enhancement of floral resources for honey bees in agro-ecosystems. *Apidologie*, 41: 264–277.

DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., Huang, E. and Huang, M.H., 2010. The effect of diet on protein concentration, hypopharyngeal gland development and virus load in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *J. Insect Physiol.*, 56: 1184–1191.

De Snoo, G.R. and van der Poll, R.J., 1999. Effect of herbicide drift on adjacent boundary vegetation. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 73: 1-6.

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L.P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J.-L. and Alaux, C., 2013. Influence of pollen nutrition on honey bee health: do pollen quality and diversity matter? *PLoS ONE*, 8: e72016.

Dreller, C. and Tarpy, D.R., 2000. Perception of the pollen need by foragers in a honeybee colony. *Anim. Behav.*, 59: 91-96.

Fewell, J.H. and Winston, M.L., 1996. Regulation of nectar collection in relation to honey storage levels by honey bees, *Apis mellifera*. *Behav. Ecol.*, 7: 286-291.

Frankl, R., Wanning, S. and Braun, R., 2005. Quantitative floral phenology at the landscape scale: Is a comparative spatio-temporal description of “flowering landscapes” possible? *J. Nat. Conserv.*, 13: 219-229.

Freemark, K. and Boutin, C., 1995. Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: A review with special reference to North America. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 52: 67–91.

Green, R.E., Osborne, P.E. and Sears E.J., 1994. The distribution of Passerine birds in hedgerows during the breeding season in relation to characteristics of the hedgerow and adjacent farmland. *J. Appl. Ecol.*, 31: 677-692.

Guzmán-Novoa, E., Eccles, L., Calvete, Y., McGowan, J., Kelly, P.G. and Correa-Benítez, A., 2010. Varroa destructor is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. *Apidologie*, 41: 443-450.

Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S. and Decourtye, A., 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 10.1126, sci.1215039, 4p.

Higes, M., Martín-Hernández, R. and Meana, A., 2010. *Nosema ceranae* in Europe: an emergent type C nosemosis. *Apidologie*, 41: 375-392.

Hinsley S. and Bellamy P., 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: A review. *J. Environ. Manag.*, 60: 33-49.

Höcherl, N., Siede, R., Illies, I., Gätschenberger, H. and Tautz, J., 2012. Evaluation of the nutritive value of maize for honey bees. *J. Insect Physiol.*, 58: 278-285.

Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D. and Tschamntke, T., 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *J. Appl. Ecol.*, 44: 41-49.

Hügel, M.F., 1962. Etudes de quelques constituants du pollen in: *Annales de l'abeille*, V: 97-133.

Husson, F., Josse, J., Le, S. and Mazet, J., 2007. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R.

Jacobs, J.H., Clark, S.J., Denholm, I., Goulson, D., Stoate, C. and Osborne, J.L., 2009. Pollinator effectiveness and fruit set in common ivy, *Hedera helix* (Araliaceae). *Arthropod-Plant Interact.*, 4: 19-28.

Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., L’Hostis, M., Wiest, L., Buleté, A., Delbac, F. and Pouliquen, H., 2013. Widespread occurrence of chemical residues in beehive

matrices from apiaries located in different landscapes of Western France. *PLoS ONE* 8, e67007.

Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F. and Burel, F., 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: a large scale study in four European countries. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 137: 143-150.

Louveaux, J., 1958. Plantes utilisées par les abeilles In: *Annales de l'Abeille, Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (Apis mellifica L.)* IV, 197-215.

Macdonald, D.W. and Johnson, P.J., 2000. Farmers and the custody of the countryside: trends in loss and conservation of non-productive habitats 1981-1998. *Biol. Conserv.*, 94: 221-234.

McLaughlin, A. and Mineau, P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 55: 201-212.

Michel, N., Burel, F. and Butet, A., 2006. How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes? *Acta Oecologica*, 30: 11-20.

Michel, N., Burel, F., Legendre, P. and Butet, A., 2007. Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France. *Landsc. Ecol.*, 22: 1241-1253.

Millán de la Peña, N., Butet, A., Delettre, Y., Morant, P. and Burel, F., 2003. Landscape context and carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) communities of hedgerows in western France. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 94: 59-72.

Monteiro, A.T., Fava, F., Hiltbrunner, E., Della Marianna, G. and Bocchi, S., 2011. Assessment of land cover changes and spatial drivers behind loss of permanent meadows in the lowlands of Italian Alps. *Landsc. Urban Plan.*, 100: 287-294.

Mullin, C.A., Frazier, M., Frazier, J.L., Ashcraft, S., Simonds, R., vanEngelsdorp, D. and Pettis, J.S., 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS ONE* 5, e9754.

Oldroyd, B.P., 2007. What's Killing American Honey Bees? *PLoS Biology* 5, e168.

Parent, J., Feller-Demalsy, M.J. and Richard, P.J.H., 1990. Les sources de pollen et de nectar dans la région de Rimouski, Québec, Canada. *Apidologie*, 21: 431-445.

Pettis, J.S., vanEngelsdorp, D., Johnson, J. and Dively, G., 2012. Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*. *Naturwissenschaften* 99: 153-158.

- Pierre, J., Mesquida, J., Marilleau, R., Pham-Delegue, M.H. and Renard, M., 1999. Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus*- quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. *Plant Breed.*, 118: 471-476.
- Poore, M.E.D., 1955. The use of phytosociological methods in ecological investigations: I. The Braun-Blanquet System. *J. Ecol.*, 1: 226-244.
- Pohorecka, K., Skubida, P., Semkiw, P., Miszczak, A., Teper, D., Sikorski, P., Zagibajło, K., Skubida, M., Zdańska, D. and Bober, A., 2013. Effects of exposure of honey bee colonies to neonicotinoid seed-treated maize crops. *J. Apicult. Sc.*, 57: 199-208 .
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. and Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends Ecol. Evol.*, 25: 345-353.
- Robinson, R.A. and Sutherland, W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.*, 39: 157-176.
- Rollin, O., Bretagnolle, V., Decourtye, A., Aptel, J., Michel, N., Vaissière, B.E. and Henry, M., 2013. Differences of floral resource use between honey bees and wild bees in an intensive farming system. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 179: 78-86.
- Sabugosa-Madeira, B., Ribeiro, H., Cunha, M. and Abreu, I., 2008. Anemophilous and entomophilous pollen flows of *Castanea sativa* in the Northeast of Portugal. *Acta Horticulturae*, 784: 133-136.
- Schmickl, T. and Crailsheim, K., 2004. Inner nest homeostasis in a changing environment with special emphasis on honey bee brood nursing and pollen supply. *Apidologie*, 35: 249-263.
- Severson, D.W. and Parry, J.E., 1981. A chronology of pollen collection by honeybees. *J. Apicult. Res.*, 20: 97-103.
- Steffan-Dewenter, I. and Kuhn, A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 270: 569-575.
- Suryanarayana, M.C., Mohana Rao, G. and Singh, T.S.M.S., 1992. Studies on pollen sources for *Apis cerana* Fabr and *Apis mellifera* L bees at Muzaffarpur, Bihar, India. *Apidologie*, 23: 33-46.
- Truax, A., Cushman, L. and Petkash, P., 2006. How soil composition relates to plant growth and diversity. *J. Ecol. Res.*, 8: 54-58.
- vanEngelsdorp, D., Meixner, M.D., 2010. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *J. Invertebr. Pathol.*, 103: S80-S95.

Vidau, C., Diogon, M., Aufauvre, J., Fontbonne, R., Viguès, B., Brunet, J.-L., Texier, C., Biron, D.G., Blot, N., El Alaoui, H., Belzunces, L.P. and Delbac, F., 2011. Exposure to sublethal doses of Fipronil and Thiacloprid highly increases mortality of honeybees previously infected by *Nosema ceranae*. *PLoS ONE* 6, e21550.

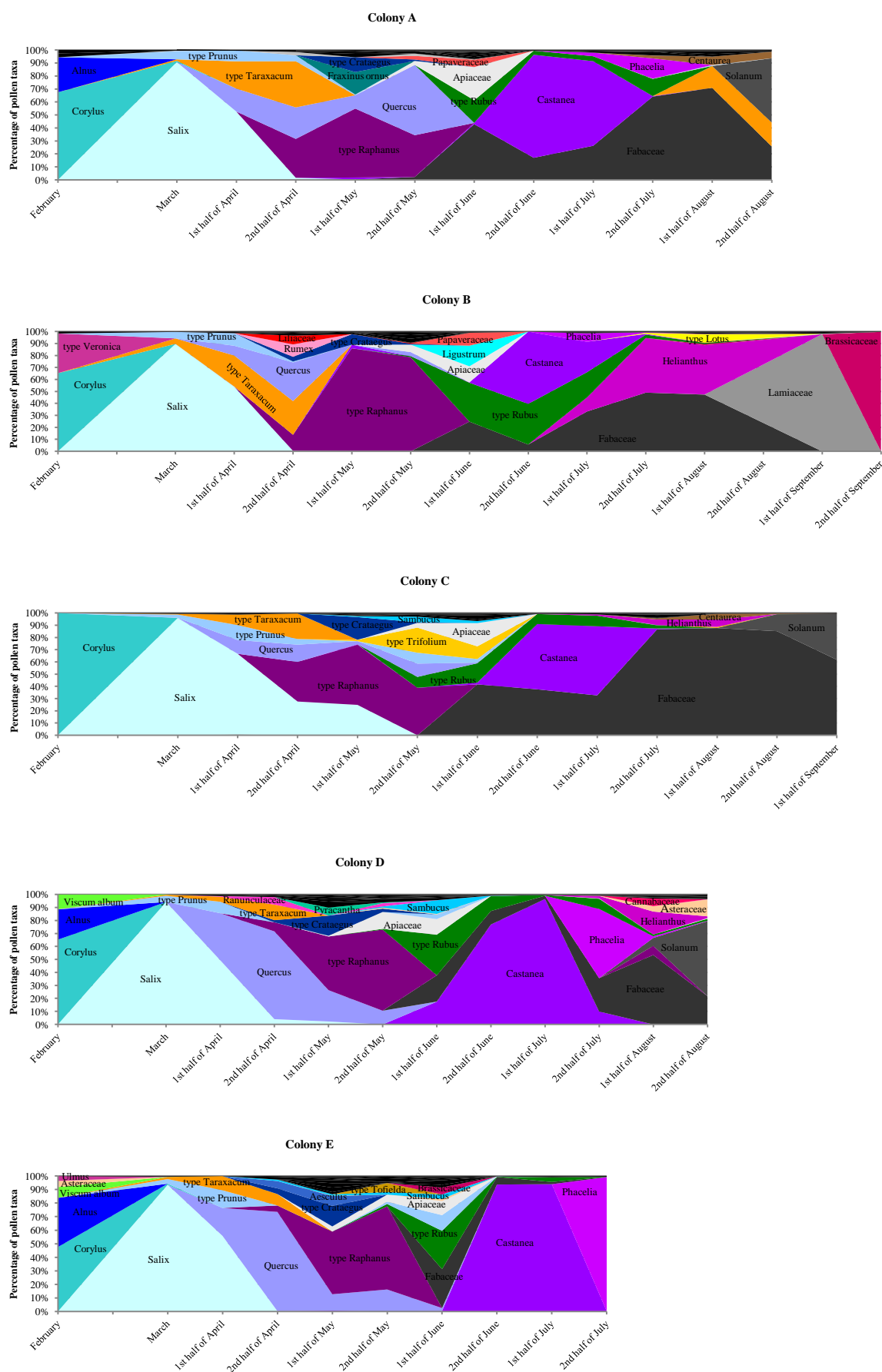
Villanueva, G.R., 2002. Polliniferous plants and foraging strategies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Rev. de Biol. Trop.* 50.

Visscher, P.K., Crailsheim, K. and Sherman, G., 1996. How do honey bees (*Apis mellifera*) fuel their water foraging flights? *J. Insect Physiol.*, 42: 1089-1094.

Von der Ohe, W., Persano, Oddo L., Piana, M.L., Morlot, M. and Martin, P., 2004. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie*, 35: S18-S25.

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.)

Appendix A: Palynological profiles of pollen pellets gathered by each of the five colonies (A-E) of the test apiary during the beekeeping season. The color code and axis coordinates are the same as those used in figure 2A.



Malgré une richesse floristique très importante au sein de l'aire de butinage de chacun des ruchers étudiés, l'abeille butine seulement une partie de cette flore, opérant des choix qui peuvent être différents selon les colonies. De façon générale, le nombre de taxons polliniques exploités évolue dans le même sens que le nombre de taxons floristiques présents. Mais il existe quelques exceptions, par exemple lors de la récolte du pollen de châtaignier, on observe une chute de la richesse pollinique au sein des colonies. Les ressources disponibles et les ressources exploitées varient en fonction du rucher étudié et d'une année sur l'autre. En revanche, au sein du même rucher, les principales ressources exploitées par les différentes colonies sont semblables, et c'est la raison pour laquelle les stratégies de butinage ont été analysées à l'échelle du rucher et non de la colonie. La saison apicole peut être découpée en trois périodes :

- la première période correspond au début d'année (janvier-juin), lorsque la diversité floristique est la plus importante. Les surfaces fleuries par des espèces sauvages, ligneuses ou herbacées, sont majoritaires. Les surfaces cultivées en fleurs sont variables en fonction du rucher et de l'année. En revanche, les abeilles exploitent majoritairement des espèces sauvages ligneuses. C'est en mai-juin qu'apparaît un premier pic de diversité pollinique au sein des colonies avant une perte de diversité à la fin du mois de juin avec la récolte quasi exclusive de pollen de châtaignier ;
- la deuxième période (juillet et août) correspond à une surface cultivée en fleur maximum au sein de l'aire de butinage. C'est également pendant ces deux mois que l'abeille récolte le plus de pollen provenant de ces espèces cultivées. En revanche, les proportions de pollen restent faibles par rapport aux ressources cultivées disponibles. Certaines espèces cultivées ne sont pas identifiées dans les pelotes de pollen ou sont très peu exploitées. A l'inverse, des espèces peu ou pas identifiées dans l'aire de butinage sont exploitées par l'abeille. Par ailleurs, les pollens provenant d'espèces sauvages herbacées sont très présents alors que ces dernières ne représentent qu'une petite surface fleurie. C'est par ailleurs pendant cette période, qu'un second pic de diversité pollinique est observé ;
- la troisième et dernière période correspond à la fin de l'année (septembre-novembre) lorsque les différentes surfaces fleuries sont représentées par une part plus importante pour les surfaces herbacées sauvages. Les abeilles récoltent des pollens aussi bien cultivés, que sauvages, qu'ils proviennent d'espèces herbacées ou ligneuses. Les espèces sauvages herbacées représentent une surface fleurie moyenne dans l'environnement, mais pour laquelle les pollens sont largement représentés dans les profils palynologiques.

III.3.2. Exploitation des ressources mellifères

Le nombre de pollens identifiés dans les échantillons de miel est bien inférieur au nombre de plantes en fleurs recensées dans l'environnement. La richesse pollinique du miel est variable au cours de la saison apicole. Si l'évolution du nombre d'espèces en fleurs augmente en début de saison pour diminuer à partir du mois de juin, le nombre de taxons polliniques ne semble pas évoluer de la même manière (Figure 69).

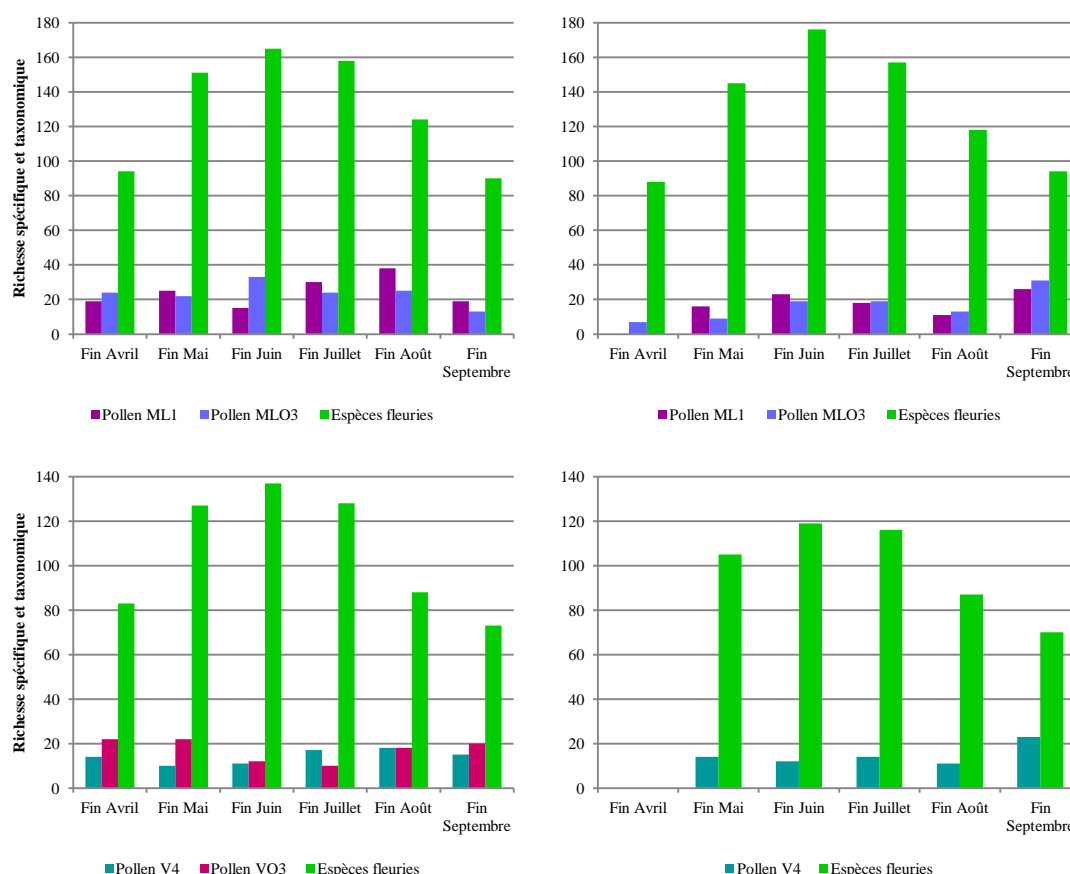


Figure 69. Richesse des espèces végétales fleuries et richesse pollinique des échantillons de miel des deux ruchers étudiés durant les saisons apicoles 2011 (à gauche) et 2012 (à droite).

Un test de Spearman n'a pas permis de mettre en évidence une corrélation entre la richesse d'espèces végétales fleuries et la richesse pollinique des échantillons de miel ($S = 9038,36$; $p\text{-value} = 0,3487$; $\rho = 0,15$). De même, il n'a pas été possible de mettre en évidence de corrélation entre la diversité en espèces végétales fleuries et la diversité pollinique ($S = 11833,26$; $p\text{-value} = 0,499$; $\rho = -0,11$).

Les profils palynologiques étant très différents les uns des autres, il n'est pas cohérent de faire une moyenne à l'échelle du rucher. Chaque profil palynologique de miel a pu être comparé aux surfaces fleuries de l'aire de butinage correspondante (Figures 70, 71, 72 et 73).

Au sein du rucher ML en 2011, les surfaces cultivées fleuries sont importantes de mai à août, mais peu de pollens de ces espèces sont retrouvés dans le miel (**Figure 70**). Les pollens provenant d'espèces sauvages ligneuses sont largement plus présents tout au long de la saison apicole, alors que ces espèces ne représentent qu'une petite surface fleurie et cela en début et en fin de saison apicole. Les espèces sauvages herbacées, qui représentent une petite surface fleurie d'avril à août, sont présentes dans les miels mais de façon différente entre les deux colonies (milieu de saison ou début et fin de saison). On remarque également que certains pollens sont présents dans plusieurs échantillons au cours de la saison apicole alors que la floraison est restreinte à une période de l'année.

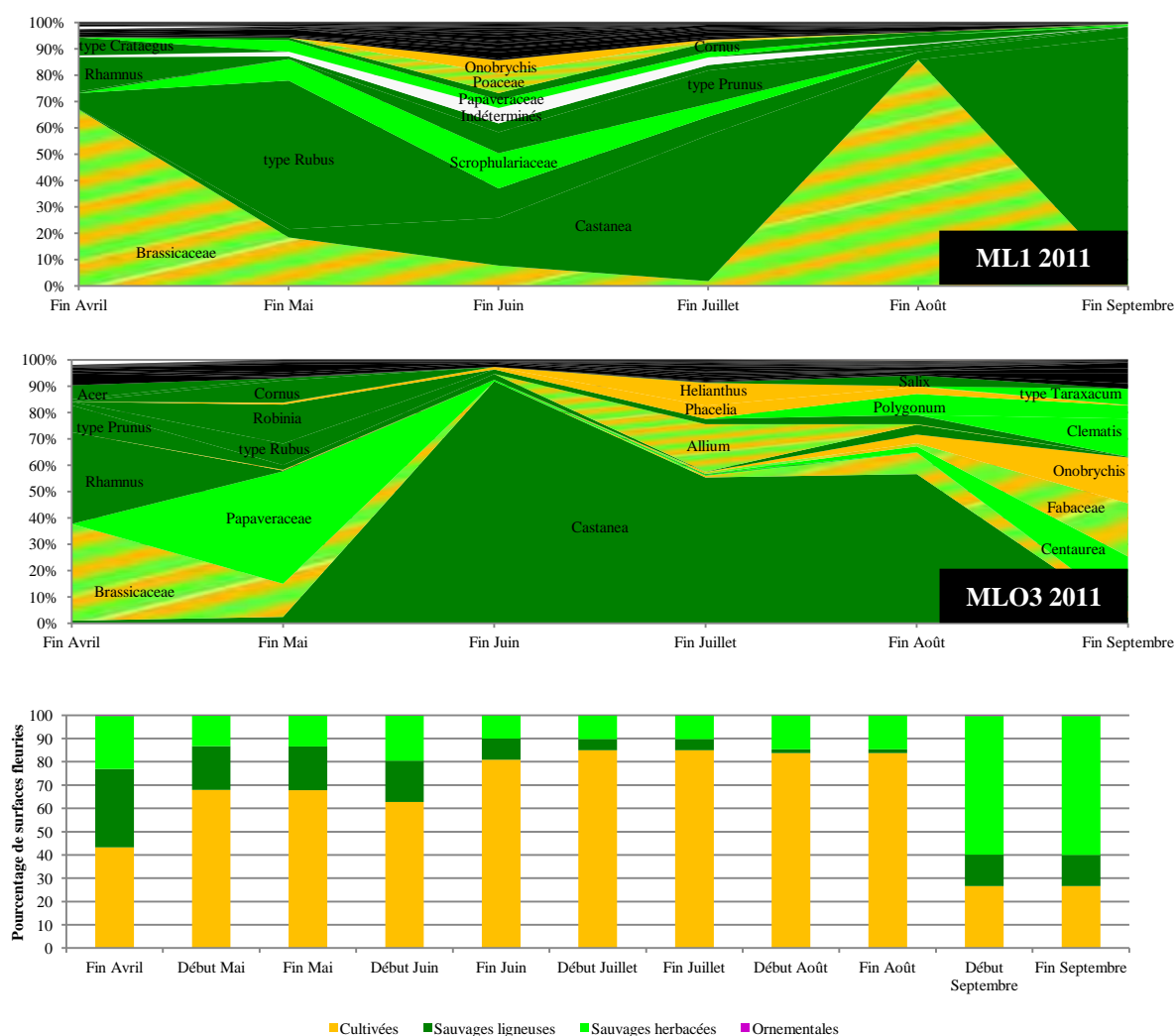


Figure 70. Profils palynologiques des miels des colonies du rucher ML en 2011 et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage.

Au sein du rucher ML en 2012, alors que les surfaces de plantes ligneuses fleuries sont sensiblement identiques à l'année précédente, les pollens de ces espèces sont moins présents dans les deux profils palynologiques (**Figure 71**). De plus, le pollen de châtaignier est présent

dans les échantillons de miel alors que la floraison de cette espèce est terminée depuis longtemps. En revanche, il semble que les pollens provenant d'espèces cultivées soient plus abondants même si pour les taxons Fabaceae, Brassicaceae et type *Raphanus*, il est possible qu'ils représentent des espèces sauvages. Le nombre d'espèces sauvages herbacées est moins important dans les profils palynologiques en comparaison avec l'année 2011. Enfin, les miels comportent du pollen d'espèces ornementales, *Rhus*, dont la surface fleurie à l'échelle du rucher parait anecdotique.

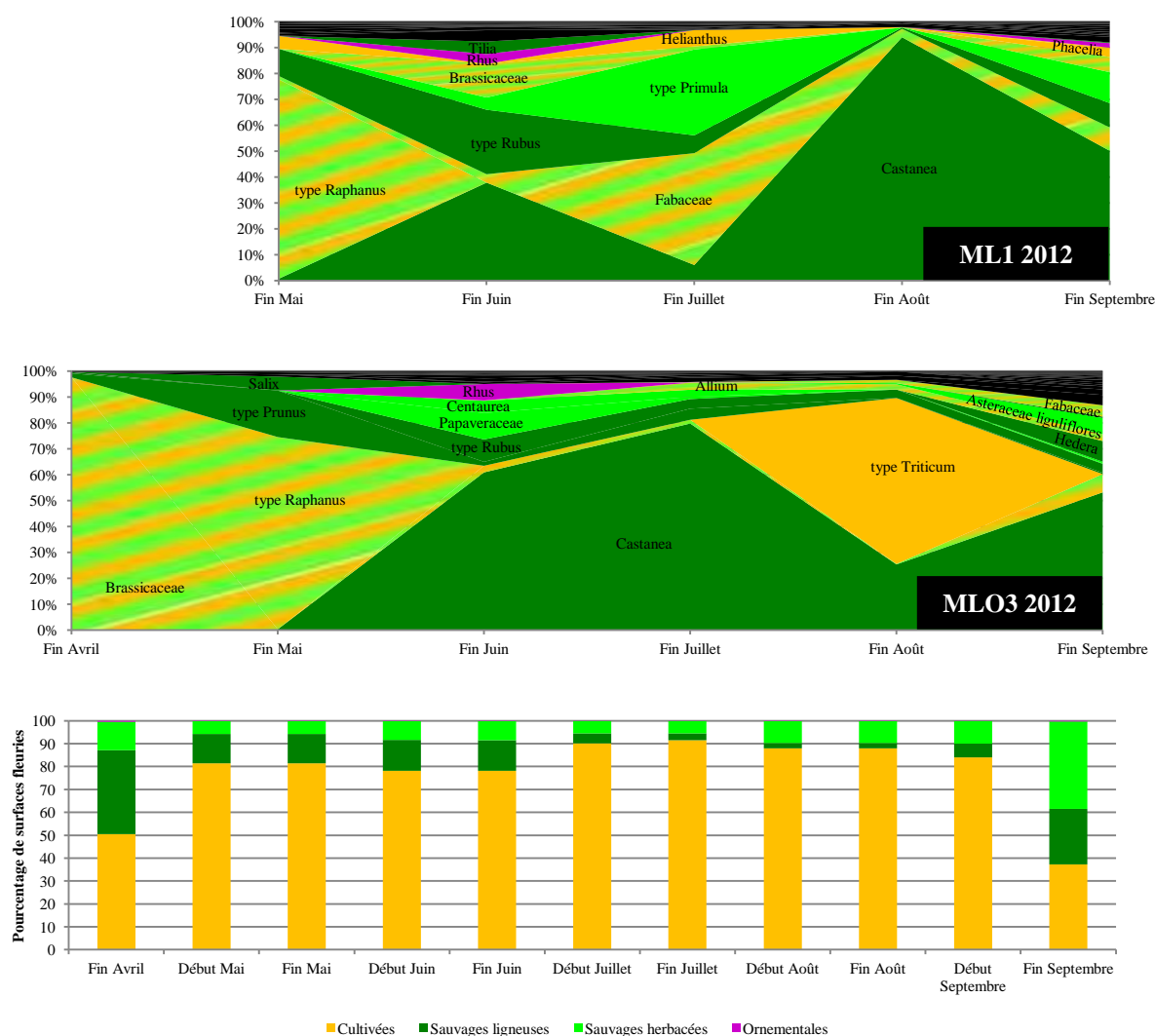


Figure 71. Profils palynologiques des miels des colonies du rucher ML en 2012 et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage.

Au sein du rucher V en 2011, le châtaignier occupe une part importante du profil palynologique, même après la fin de floraison, notamment au mois de juillet, où peu d'autres pollens sont présents (Figure 72). Les pollens d'espèces sauvages herbacées apparaissent en début et en fin de saison apicole dans les miels lorsque les surfaces fleuries par ces espèces

sont les plus importantes. Les pollens d'espèces cultivées sont présents, principalement en fin de saison apicole, lorsque la surface des cultures fleuries est moins importante.

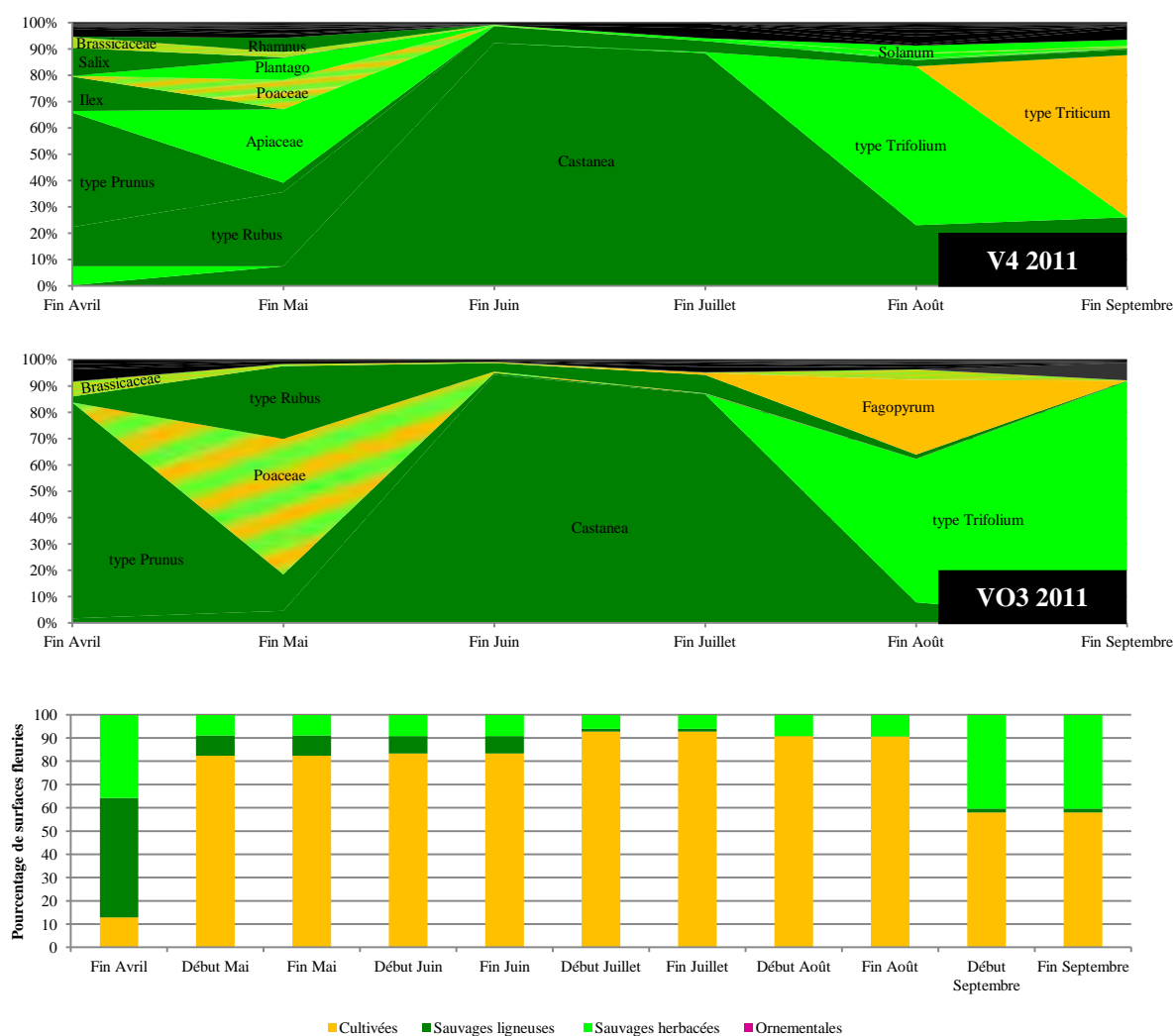


Figure 72. Profils palynologiques des miels des colonies du rucher V en 2011 et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage.

Au sein du rucher V en 2012, une seule colonie a été échantillonnée (Figure 73). Les pollens provenant d'espèces sauvages ligneuses sont présents en fin de saison apicole alors que la surface fleurie par ces espèces est plus importante en début de saison. Un taxon pollinique, d'origine cultivée et/ou sauvage (Brassicaceae) domine les échantillons de miel du début de saison. En fin de saison apicole (fin août, début septembre), le miel présente des pollens d'espèces cultivées, sauvages ligneuses et sauvages herbacées en quantités équivalentes.

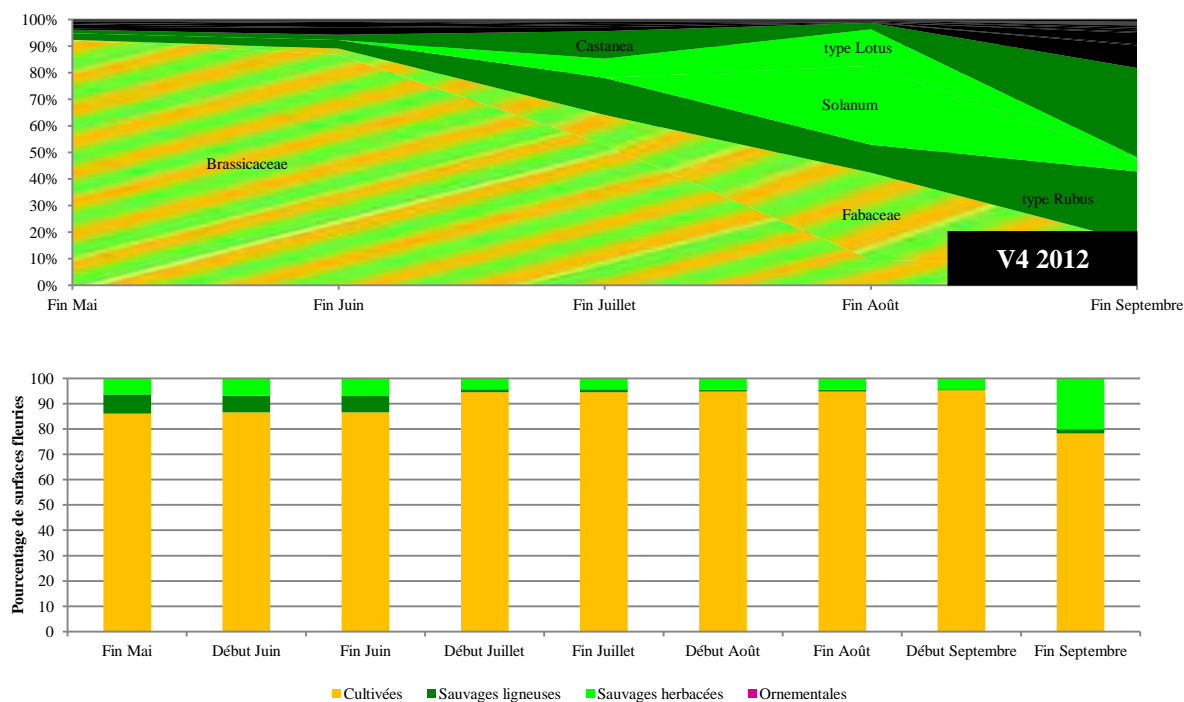


Figure 73. Profil palynologique de miel de colonies du rucher V en 2012 et histogramme des surfaces fleuries de l'aire de butinage.

La composition du miel est complexe de par la multitude de sources de nectar et de miellat qu'il peut contenir. De plus, les pollens que l'on retrouve dans ces échantillons de miel peuvent être présents sur une longue période voire pendant toute la saison apicole, ce qui ne facilite pas la comparaison entre les ressources exploitées et les ressources disponibles. Les profils palynologiques sont également très différents les uns des autres, y compris au sein d'un même rucher et sur la même année, à la différence des profils palynologiques des pelotes de pollen. Les échantillons de miels présentent des pollens de plantes cultivées et sauvages (herbacées ou ligneuses) différentes en fonction des colonies et de l'année considérée, et réparties différemment durant la saison apicole. Ainsi, la comparaison avec les surfaces fleuries ne permet pas de décrire de stratégie particulière. En revanche, les profils palynologiques de miels ont deux points communs :

- la présence de pollen de châtaignier systématique au cours de la saison apicole,
- les pollens d'espèces cultivées ne sont pas toujours bien représentés dans les échantillons de miel lorsque la surface cultivée fleurie est importante.

III.4. Résultats complémentaires

III.4.1. Poids des récoltes de miel

Les récoltes de miel ont été mesurées pour chaque colonie au cours des deux saisons apicoles et ont été exprimés en poids de miel dans le [tableau 50](#).

Tableau 50. Poids (en kg) des récoltes de miel pour chaque colonie des ruchers ML et V lors des différentes récoltes pendant les saisons apicoles 2011 et 2012.

Date de récolte	ML1	ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO3	MLO4	MLO5	MLO6
28/04/2011	52	42	12	–	32	10	–	–	–	–	–	–
16/05/2011	32	46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
09/08/2011	5	15	11	12	16	22	12	9	14	7	13	–
25/05/2012	–	–	–	30	20	–	–	8	14	10	8	12
16/08/2012	20	8	5	37	5	10	–	6	14	–	15	2
Date de récolte	V1	V2	V3	V4	V5	V6	VO1	VO2	VO3	VO4	VO5	VO6
04/05/2011	10	–	12	10	2	22	–	–	–	–	–	–
23/06/2011	14	10	8	4	–	4	–	–	–	–	–	–
17/08/2011	18	8	14	12	–	2	–	6	10	6	–	6
21/05/2012	–	14	–	11	8	–	–	–	–	–	–	–
Début juillet 2012	8	19	17	–	5	8	–	–	–	–	–	–
13/08/2012	16	20	20	3	30	8	13	–	–	8	–	–

En dehors de la période d'adaptation qui a suivi l'installation des colonies d'Ouessant dans les ruchers étudiés, il semble que les colonies introduites produisent moins de miel que les colonies locales. Il est important de préciser également que les récoltes sont variables d'une colonie à l'autre au sein d'un même rucher et d'une année sur l'autre pour une même colonie. Ces résultats sont bien évidemment à mettre en relation avec les ressources disponibles mais également l'état de santé général de la colonie ainsi que les conditions météorologiques.

III.4.2. Evaluation des colonies

La visite des ruchers et les prélèvements de matrices apicoles ont été l'occasion de remplir systématiquement une fiche d'évaluation pour chaque colonie afin de connaître sa force, son état sanitaire ou encore ses réserves alimentaires. Ces données n'ont qu'une valeur indicative.

Parmi les différentes données récoltées lors des visites, la surface de couvain et les réserves en pollen ont été observées et annotées. Des graphiques représentant le pourcentage de surface

de couvain d'une part, et un indice pollen d'autre part ont été calculés, et des informations supplémentaires sur la colonie ont été ajoutées (Annexe 16).

En règle générale, une surface de couvain importante est associée à un indice pollen élevé (le maximum étant de 4), c'est-à-dire à des réserves en pollen conséquentes au sein de la colonie (Figure 74).

On constate, sur l'ensemble des colonies, deux phases durant lesquelles la surface de couvain est plus importante : les saisons apicoles 2011 et 2012. Entre celles-ci, pendant la période d'hivernage, il apparaît une surface de couvain dont on ne connaît pas les valeurs mais qui doit être faible, voire proche de zéro, et correspondant à l'hiver 2011-2012. Durant la saison d'activité, l'indice pollen est proche de sa valeur maximale, et deux pics de couvain se profilent, un au printemps (juin) et l'autre à la fin de l'été (septembre) (exemple de la colonie MLO5, figure 74, année 2011).

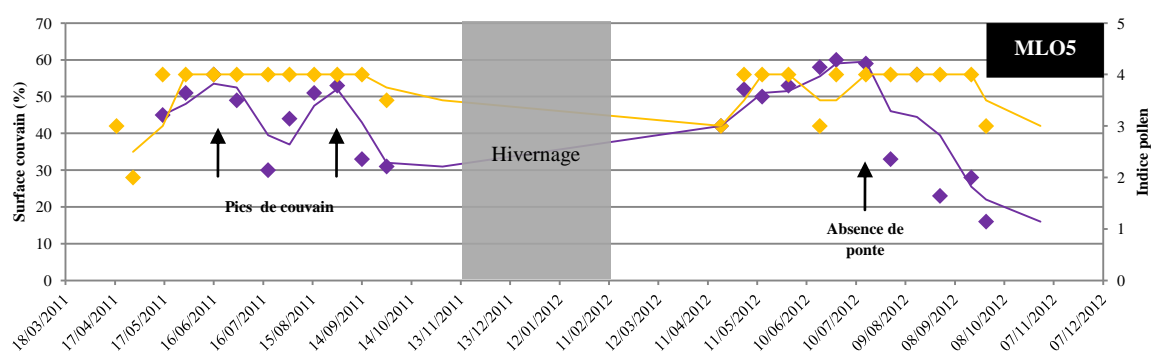


Figure 74. Evolution des réserves en pollen (orange) et de la surface de couvain (violet). Exemple de la colonie MLO5 en 2011 et 2012. En gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données.

Une colonie orpheline, un remérage, une maladie du couvain telle que la loque européenne ou encore une absence de ponte est systématiquement concomittant avec une diminution de la surface de couvain (exmple de la colonie ML6 en 2011, figure 75, annexe 16). Il semblerait donc que ces différents phénomènes puissent intervenir et modifier l'évolution de la surface de couvain. Dans ces cas-là, on peut également observer une diminution des réserves en pollen.

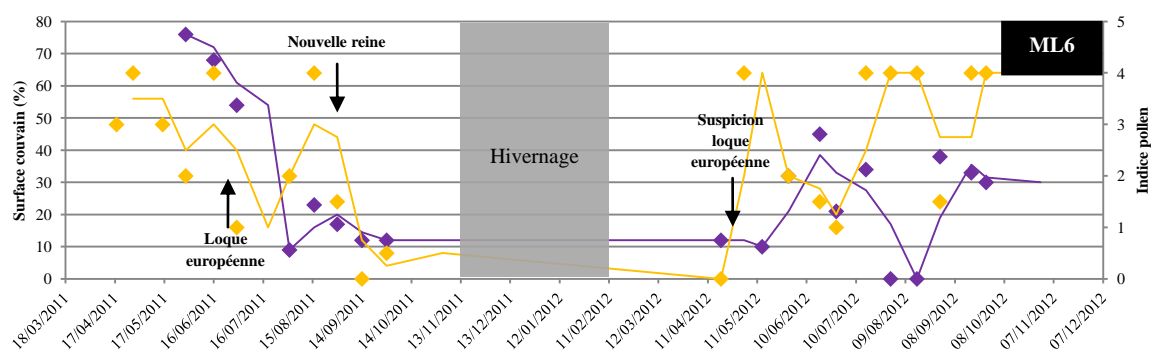


Figure 75. Evolution des réserves en pollen (orange) et de la surface de couvain (violet) au sein de la colonie ML6 en 2011 et 2012. En gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données.

Cette chute des réserves lors d'évènement, associés à une diminution de la surface de couvain ne se vérifie pas toujours. En effet, certaines colonies présentent des indices pollen maximum alors que la surface en couvain diminue (exemple de la colonie MLO1, [figure 76](#), annexe 16).

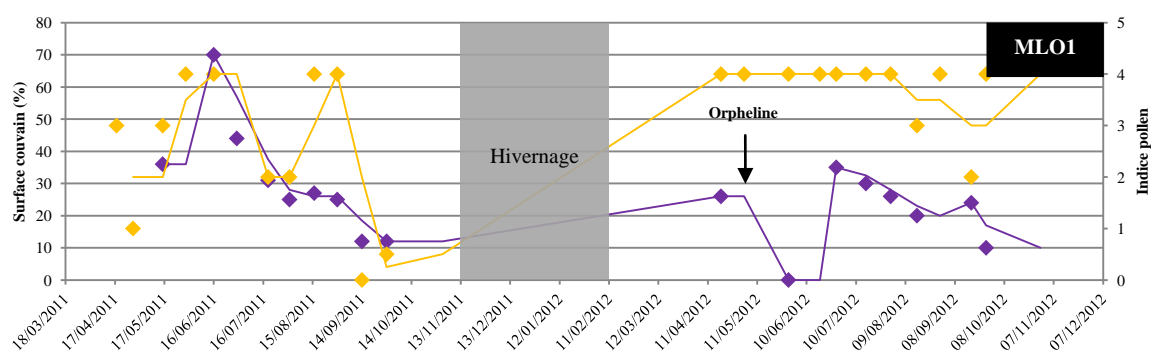


Figure 76. Evolution des réserves en pollen (orange) et de la surface de couvain (violet) au sein de la colonie MLO1 en 2011 et 2012. En gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données.

Cependant, certaines colonies, ne présentant pas de problème majeur, accumulent des réserves en pollen importantes mais une diminution de couvain est constatée. Pour ces colonies qui ne présentent pas d'éléments qui favoriseraient la baisse de couvain, il est intéressant de coupler ces informations avec les ressources polliniques exploitées par les abeilles de ces colonies.

La colonie V1 en 2011, correspond à ce cas de figure. Les ressources polliniques exploitées au début du mois de juillet sont des pollens provenant de cultures telles que le tournesol ou encore le sarrasin, et la richesse pollinique est faible ([Figure 77](#)).

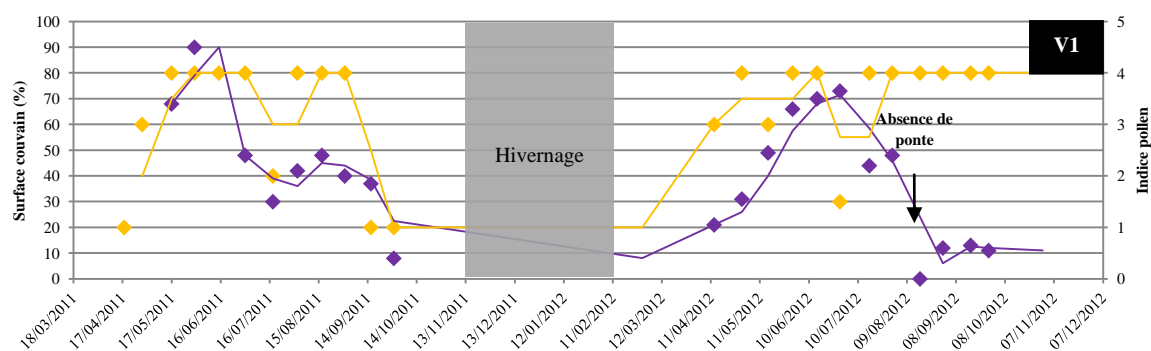
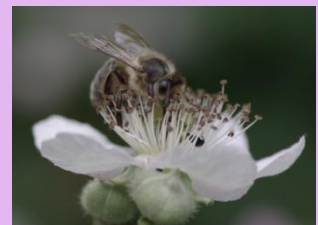
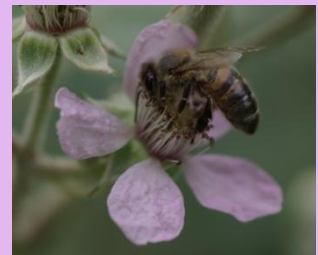


Figure 77. Evolution des réserves en pollen (orange) et de la surface de couvain (violet) au sein de la colonie V1 en 2011 et 2012. En gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données.

La surface de couvain dans la ruche et les ressources polliniques sont étroitement liées. Cependant de nombreux facteurs internes à la colonie semblent entraîner cette perte de couvain et il reste difficile d'en connaître l'origine. Lorsque les facteurs internes ne semblent pas en cause, des facteurs externes peuvent alors être recherchés. Le type de pollen, la diversité pollinique et la quantité de pollen sont des éléments qui peuvent avoir des conséquences sur l'évolution de la surface de couvain.

IV. Discussion



La première étude menée en 2008 et 2009 a permis d'avoir des données ponctuelles sur les ressources disponibles et les ressources exploitées par les abeilles de dix-huit ruchers dans différents paysages du nord-ouest de la France. La deuxième étude réalisée sur deux ruchers situés en paysage de grande culture, pendant deux années consécutives (2011 et 2012) avec un échantillonnage en continu, a permis d'affiner l'analyse des ressources et d'entrevoir les stratégies de butinage développées par les abeilles dans chacun des deux ruchers. L'ensemble des résultats obtenus et leur complémentarité ont ainsi permis i/ de connaître les ressources floristiques disponibles au sein des aires de butinage d'un paysage de grande culture du nord-ouest de la France, ii/ de connaître les ressources pollinifères et mellifères réellement exploitées par les abeilles des différentes colonies des deux ruchers considérés et enfin iii/ de proposer les essences végétales à privilégier au sein de l'aire de butinage d'un rucher sédentaire en paysage agricole, afin de garantir à la fois le maintien et le développement des colonies, et la pollinisation des cultures.

IV.1. Quelles sont les ressources floristiques disponibles au sein de l'aire de butinage des deux ruchers situés en paysage de grande culture ?

Les résultats de l'analyse paysagère réalisée dans le cadre de l'étude menée en 2008 et 2009 et les données collectées suite aux prospections de terrain en 2011 et 2012 sur les deux ruchers étudiés sont comparables. Bien que l'analyse paysagère ait été effectuée sur des rayons différents pour les deux études, respectivement 3 et 1,5 km autour de chaque rucher, les proportions des catégories d'occupation du sol sont équivalentes. La caractérisation de ces deux aires de butinage en paysage de grande culture est confirmée, notamment d'après les critères de *Michel et al. (2007)*. En effet, 40 % à 50 % de l'aire de butinage des deux ruchers sont occupés par des cultures alors que la surface prairiale ne couvre que 10 % à 30 % de la superficie à considérer. Le linéaire de haies est de 17 m/ha en 2008 et de 13 m/ha en 2011-2012 pour l'aire de butinage du Maine-et-Loire, alors que pour la Vendée, il est respectivement de 33 m/ha et de 32 m/ha. Les valeurs de ces linéaires plutôt faibles sont également en adéquation avec un paysage de grande culture (*Michel et al., 2007*). En revanche la surface parcellaire moyenne est très différente selon qu'on se réfère aux données de 2008 ou à celles de 2011-2012. Pour les aires de butinage des ruchers ML et V, les surfaces parcellaires moyennes respectives sont de 4,4 ha et 5,1 ha en 2008, et de 1,71 et 2,79 ha en 2011-2012. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en 2008, seules des données déclaratives de l'ensemble des utilisateurs de produits à usage phytosanitaire ont été prises en compte,

sans nécessairement considérer l'ensemble des parcelles de l'aire de butinage. De plus, les enquêtes de terrain ont été difficiles à mettre en œuvre pour les parcelles attenantes au rucher ML en raison d'une coopération des exploitants agricoles qui n'a pas été systématique. Nous n'avons pu disposer que de données incomplètes durant l'année 2008 sur les parcelles et leurs usages.

Les aires de butinage des ruchers ML et V possèdent une large superficie d'espèces cultivées dont la floraison s'étale de mars à novembre avec un pic de floraison pendant les mois d'été (*Helianthus annuus* et *Zea mays* notamment), qui de plus, ne concerne qu'un nombre réduit de taxons. Ces ressources, sont peu diversifiées et ponctuellement abondantes durant la saison apicole mais peuvent représenter une manne importante de ressources potentiellement exploitables par l'abeille lors de phases précises du développement de la colonie (Fewell & Winston, 1992 ; Dreller & Tarpy, 2000). Des cultures de colza et des vergers de pommiers en fleurs sont présents dans l'aire de butinage du rucher ML constituant autant de ressources exploitables par les colonies. Le colza, comme le tournesol ou le sarrasin sont caractérisés par de forte miellées souvent mises à profit par les apiculteurs qui transhument leurs colonies en zones agricoles lors de floraison de ces espèces cultivées (Depauw & Bruneau, 2005).

Les surfaces cultivées sont d'importantes ressources potentielles mais elles représentent également des zones à risques élevés pour les abeilles et l'ensemble des pollinisateurs :

- Premièrement, les **ressources cultivées** fleuries occupent une surface restreinte voire insignifiante et sont **peu diversifiées** en début de saison apicole (février-mars) lors de la **reprise de l'activité apicole**. Durant cette période, le développement des colonies, et notamment l'élevage de couvain qui nécessite les ressources protéiques présentes dans le pollen (Crailsheim, 1990), ne peuvent donc pas reposer sur la seule présence des espèces végétales cultivées ;
- Deuxièmement, certaines espèces cultivées, comme les céréales par exemple, peuvent présenter des intérêts moindres pour l'abeille, notamment en terme de ressources pollinifères, certaines de ces espèces présentant en effet seul un intérêt mellifère (Louveaux, 1958). Ainsi, les surfaces occupées par ces espèces peuvent constituer de véritables **déserts nutritionnels**, notamment en pollen. Dans un tel contexte, les abeilles peuvent être contraintes à allonger leurs distances de vol pour accéder à des ressources alimentaires qui présentent un meilleur intérêt nutritionnel. Il en résulte un impact sur la longévité des butineuses mais également sur l'efficacité de l'approvisionnement et par

conséquent sur le développement de la colonie (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003). Ce phénomène peut être accentué par les systèmes de rotation des cultures où une culture attractive est remplacée les années suivantes par des cultures de moindre intérêt pour les abeilles (Hochörl *et al.*, 2012) ;

- Troisièmement, ces zones cultivées sont souvent des aires de monocultures, ce qui se traduit par une **uniformisation des ressources** et des apports nutritionnels, notamment en protéines, avec les risques de carences et de stress alimentaire qui en découlent (Brodschneider & Crailsheim, 2010). Parallèlement, les pratiques agricoles actuelles ont un impact sur les espèces sauvages présentes au sein ou à proximité de ces cultures. Hald (1999) a montré que la diversité en plantes sauvages dans les cultures céréalières était plus importante lors d'une gestion biologique en comparaison à une gestion conventionnelle. De plus, l'application d'herbicides entraînerait une diminution de la diversité végétale au sein de ces cultures (Freemark & Boutin, 1995) et l'utilisation de fertilisants aurait un impact négatif sur la richesse, la diversité et la croissance des espèces en bordure de champs (Kleijn & van der Voort, 1997 ; Schippers & Joenje 2002). Ainsi, la présence erratique d'espèces messicoles comme le coquelicot ou le bleuet dans les espaces cultivés, ou leur quasi-totale absence (rucher V), ne permet pas de contrebalancer le poids de la monoculture (Altieri & Whitcom, 1979 ; De Snoo & van der Poll, 1999 ; Olson & Wäckers, 2007) ;
- Enfin, les aires cultivées sont généralement des zones largement **exposées aux pesticides** (insecticides, herbicides, fongicides) utilisés dans la lutte contre les organismes dits nuisibles et pour la protection des espèces végétales cultivées (Balayiannis & Balayiannis, 2008 ; Mullin *et al.*, 2010 ; Chauzat *et al.*, 2011 ; Lambert *et al.*, 2013). De nombreuses études ont mis en évidence la toxicité chronique sublétalement importante pour l'abeille et la colonie en général, de certaines de ces molécules (Belzunces *et al.*, 2012 ; Henry *et al.*, 2012 ; Whitehorn *et al.*, 2012) et confirment ainsi le risque élevé lié au butinage des plantes cultivées. Ce risque est d'autant plus important que l'association entre molécules et l'effet cocktail engendré, ou encore les effets synergiques des agents infectieux et des pesticides sont désormais connus pour avoir un impact négatif sur la santé de l'abeille et des colonies (Vandame & Belzunces, 1998 ; Thompson & Wilkins, 2003 ; Vidau *et al.*, 2009 ; Vidau *et al.*, 2011 ; Aufauvre *et al.*, 2012 ; Wu *et al.*, 2012).

Les essences sauvages sont majoritaires au sein des aires de butinage étudiées et comportent plus de 60 % des espèces végétales en fleur inventoriées. La floraison de ces espèces s'étale sur toute l'année et offre ainsi une surface fleurie importante en début et en fin de saison apicole. Ces espèces représentent par ailleurs une ressource riche et variée pour les abeilles. Ces essences sauvages se distribuent en deux grandes catégories : i/ les espèces sauvages ligneuses présentes dans les bois, les bosquets et les haies telles que *Quercus* spp., *Populus* spp., *Prunus* spp. ou *Salix* spp., et ii/ les espèces sauvages herbacées présentes dans les prairies, les fossés et les bords de route telles que *Taraxacum* spp., *Trifolium* spp., *Centaurea* spp., *Ranunculus* spp., *Vicia* spp., etc ... A cette richesse et cette disponibilité dans le temps peut s'opposer une faible répartition dans l'espace étant donné que ces espèces sont présentes au sein de surfaces non cultivées, minoritaires en zones de grandes cultures. Cela est illustré par des indices de diversité et d'équitabilité faibles au sein des aires de butinage d'autant plus que ces surfaces d'espèces sauvages sont fragiles, notamment quand il s'agit de prairies, de haies, de fossés et de bords de routes. Ces zones que l'on peut qualifier de « naturelles », par opposition aux surfaces cultivées, peuvent être « entretenues » et perdre en richesse floristique et/ou en attractivité floristique suite à la fertilisation, au pâturage, au broyage ou encore au fauchage (McLaughlin & Mineau, 1995 ; Plantureux *et al.*, 2005 ; Truax *et al.*, 2006 ; Pywell *et al.*, 2007).

Au sein de l'aire de butinage du rucher ML, une surface urbanisée importante favorise la présence de plantes ornementales variées et ponctuelles dans le temps et dans l'espace mais qui sont potentiellement disponibles pour l'abeille. Ces ressources ornementales augmentent significativement la richesse des ressources floristiques disponibles pour l'abeille au sein de cette aire de butinage.

Il est également important de signaler que le paysage de grande culture des ruchers étudiés, diffère cependant des paysages de grande culture d'autres régions. Par comparaison avec la région Centre qui est la première région céréalière et oléagineuse de France (Agreste, 2012), les caractéristiques agricoles sont différentes (Tableau 51). En effet, pour une surface agricole comparable, la superficie de céréales et d'oléagineux est bien plus importante en région Centre alors que la superficie de prairies permanentes est supérieure en région Pays de la Loire.

Tableau 51. Quelques chiffres sur l'agriculture en régions Pays de la Loire et Centre, * Surface toujours en herbe et la dénomination qui concerne l'ensemble des prairies permanentes (source : INSEE, 2012).

Région	Pays de la Loire	Centre
Nombre d'exploitations (2010)	34 344	25 081
Surfaces agricoles (ha)	2 103 900	2 314 800
Surface en céréales (%)	33,3	53,1
Surface en oléagineux (%)	4,8	17,6
Surface toujours en herbe* (%)	19,6	10,1

Malgré une surface cultivée importante, les aires de butinage étudiées semblent offrir aux abeilles une large gamme d'essences végétales sur l'ensemble de l'année avec d'une part des ressources cultivées abondantes mais ponctuelles, peu variées et pouvant exposer les abeilles aux risques engendrés par les pratiques culturales modernes (traitements, homogénéisation végétale, ...) et d'autre part des ressources sauvages diversifiées, étalées dans le temps mais sporadiques (potentiellement sous-évaluées pour des raisons d'accessibilité aux parcelles présentes dans l'aire de butinage). La comparaison des espèces végétales disponibles et des pollens collectés par les abeilles nous fournit un aperçu des stratégies de butinage des abeilles dans ce type de paysage et permet de mesurer la part effective de chaque type de ressources dans les besoins de la colonie.

IV.2. Quelles sont les ressources pollinifères et mellifères exploitées par l'abeille dans les paysages de grande culture, au cours de la saison apicole ?

L'analyse de pelotes de pollen et des miels prélevés sur les colonies des deux ruchers a permis de connaître les ressources pollinifères et mellifères exploitées par l'abeille. Contrairement à celle utilisée pour le miel, la méthode d'échantillonnage des pelotes de pollen n'est pas celle généralement décrite et utilisée dans la littérature. Pour cette raison, la méthode utilisée pour la collecte de pollen dans cette étude a dû faire l'objet d'une validation au sein d'un troisième rucher.

IV.2.1. Validation de la méthode d'échantillonnage des pelotes de pollen au niveau du plancher

La trappe à pollen est la méthode de référence utilisée pour la récolte de pelotes de pollen à l'entrée de la ruche, que ce soit pour des études scientifiques ou pour la récolte du pollen

destinée à la consommation humaine (Lavie & Fresnaye, 1963). L'étude des ressources polliniques conduite en 2011-2012 nécessitant un échantillonnage en continu, le choix a été fait de récolter les pelotes de pollen au niveau du plancher pour minimiser les perturbations sur les colonies étudiées. En effet, la mise en place de trappe à pollen en continu sur deux saisons apicoles n'est pas conseillée car susceptible d'entraîner une diminution de la surface du couvain et, à terme un affaiblissement de la population d'abeilles (Eckert, 1942 ; Lavie & Fresnaye, 1963 ; Duff & Furgala, 1986).

En 2012, un protocole a été mis en place pour évaluer les deux systèmes, trappe à pollen et plancher des ruches, et permettre l'analyse comparative des données palynologiques avec celles d'autres études en particulier avec celles obtenues en 2008-2009. Les analyses statistiques réalisées à partir des deux méthodes d'échantillonnage n'ont pas révélé de différence significative sur les fréquences d'apparition des différents pollens et ont montré une corrélation significative des échantillons de pollen de trappes avec les échantillons de pollen de planchers. Cette corrélation ne permet toutefois pas de conclure à une même efficacité pour les deux méthodes en raison de différences qualitatives (présence de taxons identifiés uniquement dans un des deux types d'échantillonnage). Néanmoins, la forte concordance des taxons polliniques obtenus entre les deux échantillonnages réalisés dans le cadre de ce protocole, permet d'envisager une analyse des résultats palynologiques de l'ensemble de l'étude tant du point de vue qualitatif que quantitatif.

IV.2.2. Ressources pollinifères exploitées par l'abeille en paysage de grande culture

Durant les saisons apicoles 2011 et 2012, un total de 153 pollens différents, représentant 73 familles, ont été rapportés par les abeilles sur les 82 familles et 358 taxons floristiques disponibles dans l'environnement. Au Canada, dans la région du Bas Saint-Laurent (en zone tempérée), Parent *et al.* (1990) ont identifié 60 taxons polliniques dans des échantillons de pollen prélevés de mai à septembre pour un nombre d'espèces identifiées dans l'aire de butinage (composée de surfaces cultivées et boisées) deux fois moins important que celui de notre étude. En Argentine, dans un paysage composé notamment de pâtures et de cultures, Telleria (1993) a identifié 55 taxons polliniques pour 190 espèces floristiques présentes dans l'aire de butinage (1 km autour du rucher). En Allemagne, Köppler *et al.* (2007) ont identifié 214 taxons polliniques dans des pelotes de pollens échantillonnées de juin à septembre pendant trois saisons consécutives. Cependant cette équipe a travaillé sur 20 colonies installées dans un environnement caractérisé par une importante diversité floristique et

fondamentalement distinct des paysages de grande culture ayant fait l'objet de notre étude. Si l'on prend en compte les différents facteurs étudiés (période d'échantillonnage, paysage et ressources disponibles, ...) on peut donc considérer que, dans des environnements comparables, les ratios des pollens exploités rapportés aux fleurs présentes sont des valeurs relativement constantes.

La majorité des pollens rapportés appartient à des essences végétales présentes sur les 707 hectares inventoriés autour du rucher. Toutefois, certains pollens sont issus de taxons non retrouvés dans l'aire de butinage étudiée, tels que le type *Raphanus*. Ceci peut être lié, soit au fait que les pollens récoltés par les abeilles ont été collectés au-delà de 1500 mètres, et il est connu que ce rayon de butinage varie de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres (Visscher *et al.*, 1996), soit au fait que certaines zones n'ont pu être échantillonnées rigoureusement, en lien avec des contraintes de terrain (inaccessibilité d'une parcelle, visibilité réduite par un obstacle, ...). A l'inverse, plusieurs taxons, comme l'œillet, n'ont que très rarement été retrouvés dans les profils polliniques. Parmi ces taxons, trois catégories de pollens se distinguent : i/ ceux qui correspondent vraisemblablement à des plantes peu attractives du fait de leur faible intérêt nutritionnel pour les abeilles ou ii/ ceux qui ont bien été visités mais sur lesquelles seul le nectar a été récolté (Louveaux, 1958 ; Waddington *et al.*, 1994 ; Pernal & Curie, 2002) ou iii/ ceux qui ont un intérêt nutritionnel pour les abeilles mais pour lesquels peu ou pas de pollens ont été collectés. C'est notamment le cas du pollen de pommiers (Rosaceae) qui est peu présent dans les échantillons de pelotes de pollen du rucher ML alors que ce rucher est situé en bordure d'un verger de pommiers. Ainsi, soit les abeilles n'ont pas butiné de pollen de pommiers bien qu'il s'agisse d'une ressource intéressante d'un point de vue nutritionnel (Bruneau, 2006 ; Santos *et al.*, 2009, annexes 17 et 18), soit l'utilisation de produits phytosanitaires sur les vergers en pleine floraison a eu un impact important sur les butineuses qui, affectées, n'ont pas pu regagner la ruche. Ce comportement de non-retour au rucher semble caractéristique des symptômes d'intoxication par les insecticides néonicotinoïdes et peut être induit expérimentalement par une exposition des butineuses à des doses sub-létales de ces molécules (Henry *et al.*, 2012). Enfin on ne peut exclure que notre méthode d'échantillonnage au niveau des planchers soit inadaptée à la collecte de ce type de pollen (en lien avec l'adhérence des grains et des pelotes de pollen aux pattes des abeilles). De même, des parcelles de phacélie présentes au sein de l'aire de butinage du rucher V, et *a priori* attractives et intéressantes pour l'abeille en raison du taux protéique élevé des pollens de cette plante (Pernal & Currie, 2000 ; Bruneau, 2006, annexes 17 et 18), ne semblent pas avoir été exploitées. Ceci peut être lié à la distance importante entre le rucher et la ressource, par ailleurs la topographie vallonnée du site, peut agir comme une barrière pour

la localisation de la ressource (Lecomte, 1956), et/ou au fait que le taux de protéines des pollens peut varier en fonction de la nature des sols (Lau & Stephenson, 1994).

Ainsi, l'étude comparative des ressources disponibles et des ressources exploitées présentée dans ce mémoire confirme que seule une partie de la flore présente est réellement utilisée par les butineuses (voir e.g. : Percival, 1947 ; Jaxtheimer, 1949 ; Louveaux, 1958 ; Louveaux, 1959 ; Parent *et al.*, 1990 ; Aronne *et al.*, 2012).

De manière générale, étant donné le ratio des taxons présents et exploités (dans la littérature et notre étude), il est permis de conclure que les aires de butinage étudiées et les essences végétales présentes réunissent des conditions favorables à l'activité des abeilles et au développement des colonies concernées.

Le nombre de taxons récoltés par les abeilles lors de cette étude varie de la même façon (de 1 à 34) que le nombre de taxons présents sur l'aire de butinage (de 5 à 165). Cependant, la richesse végétale et pollinique plus importante pour le rucher ML couplée à une corrélation positive des espèces floristiques disponibles et des taxons polliniques exploités semblerait indiquer qu'un rucher installé dans un milieu riche favorise des récoltes polliniques plus riches, bien que l'abeille fasse des choix dans l'aire de butinage et n'utilise qu'une partie de la flore. La variabilité du nombre de taxons dans les profils polliniques est principalement liée au nombre de taxons minoritaires présents (< 5 % de l'échantillon) et confère à chaque colonie un profil palynologique unique (Louveaux, 1958). Cependant il n'a pas pu être mis en évidence de différences significatives entre les ressources polliniques exploitées en 2011 et en 2012 au sein des colonies, comme ce fut le cas pour une étude menée sur deux années consécutives par Ismail *et al.* (2012). De même, les colonies locales et les colonies d'Ouessant semblent exploiter des ressources semblables. En effet, il semblerait que les variabilités polliniques observées lorsque l'on compare les échantillons de pollen de différentes colonies au sein d'un même rucher pour une période donnée s'atténuent lorsque l'on travaille sur de longues périodes (Jaxtheimer, 1949). Il n'est pas exclu non plus que les préférences de chaque colonie pour certaines ressources polliniques soient tempérées par le phénomène de dérive (Fresnaye, 1963). Plusieurs études ont été entreprises sur la comparaison des ressources polliniques de différentes sous-espèces d'abeilles. En 1964, Warakomska et Louveaux ont fait des recherches sur les variations de comportement de butinage entre *Apis mellifera mellifera* (abeilles noires) et *Apis mellifera mellifera* * *Apis mellifera ligustica* (abeilles hybrides). Ils ont pu montrer que le poids de pollen récolté était sensiblement plus important pour les colonies d'abeilles hybrides (résultats non significatifs)

et que le nombre de taxons polliniques était significativement supérieur pour ces mêmes colonies hybrides. En revanche, des études plus récentes n'ont pas permis de montrer de différences des ressources polliniques exploitées par différentes sous-espèces d'abeilles, que ce soit dans le cadre d'une comparaison des ressources exploitées par l'Abeille domestique et l'Abeille africaine (Villanueva & Roubik, 2004) ou dans le cadre d'une comparaison des ressources exploitées par quatre sous espèces d'*Apis* : *Apis mellifera mellifera*, *A. m. carnica*, *A. m. ligustica* et *A. m. capensis* (Köppler *et al.*, 2007). La similitude des profils polliniques d'une année sur l'autre et entre les colonies de même origine ou d'origines différentes provient sans doute des essences végétales majoritairement rapportées à la ruche qui regroupent peu de taxons différents. A cette constance du nombre s'oppose une variabilité qualitative avec des taxons différents au cours de la saison apicole en lien avec la phénologie des plantes (Sabugosa-Madeira *et al.*, 2008 ; Aronne *et al.*, 2012 ; Bagella *et al.*, 2013). En parallèle à la phénologie, d'autres facteurs influent sur la diversité des ressources exploitées par les abeilles, ces facteurs pouvant même interagir entre eux : l'attractivité des fleurs (Maurizio, 1953 ; Percival, 1955 ; Louveaux, 1958), l'abondance des ressources (Suryanarayana *et al.*, 1992) et l'absence de choix floristique en début ou en fin de saison apicole, les conditions météorologiques qui conditionnent les sorties des butineuses (Riessberger & Crailsheim, 1997), la qualité des sols (Truax *et al.*, 2006), l'utilisation d'intrants chimiques pour amender ou pour lutter contre les organismes nuisibles (McLaughlin & Mineau, 1995 ; Billeter *et al.*, 2008), la gestion des sites (McLaughlin & Mineau, 1995), etc... S'il est indéniable que les ressources exploitées par les abeilles dépendent strictement des fleurs disponibles, certains facteurs, dépendant strictement de la biologie et de l'écologie de l'abeille, vont également avoir une influence.

- Premièrement, les **besoins de la colonie** évoluent en fonction de la période durant la saison apicole et dépendent notamment de la récolte de pollen qui constitue la principale nourriture des larves (Crailsheim, 1990 ; Fewell & Winston 1996 ; Dreller & Tarpy, 2000 ; Weidenmüller & Tautz, 2002 ; Schmickl & Crailsheim, 2004).
- Deuxièmement, plusieurs études ont montré une corrélation positive entre la quantité de pollen consommé et le développement des glandes hypopharyngiennes (De Grandi-Hoffman *et al.*, 2010 ; Corby-Harris *et al.*, 2014). De même, Alaux *et al.* (2010) ont montré qu'une alimentation peu diversifiée était un des facteurs d'immunodéficience chez l'abeille. De plus, une alimentation pollinique diversifiée permettrait une meilleure résistance et une meilleure longévité (Foley *et al.*, 2012 ; Di Pasquale *et al.*, 2013 ;

Wang *et al.*, 2014). Il a été montré qu'un stress nutritionnel pouvait être **un co-facteur aggravant dans la perte de colonies d'abeilles** (Oldroyd, 2007 ; Naug, 2009).

- Troisièmement, plusieurs auteurs ont montré que les abeilles sont capables de **sélectionner les pollens** sur la base de critères de qualité comme la présence de composés qu'elle ne peut pas synthétiser par elle-même (Louveaux, 1958 ; Hügel, 1962).
- Enfin, la **compétition des abeilles domestiques** entre elles ou avec d'autres espèces pollinisatrices semble pouvoir entraîner un changement de stratégie de butinage. En effet, une étude a pu montrer que les butineuses les plus expérimentées d'un groupe d'abeilles accédaient plus facilement à la ressource (Fernandez & Farina, 2005). De même, Villanueva et Roubik (2004) ont montré que lors de l'introduction de colonies d'*Apis mellifera ligustica* dans un environnement saturé en abeilles africaines (*Apis mellifera scutellata*), plusieurs changements étaient observés : changement des principales espèces végétales exploitées, faible diversité du régime alimentaire et son uniformisation pour les individus européens et abandon d'espèces végétales en raison de la compétition.

Les profils polliniques mettent en évidence la part importante représentée par les espèces végétales sauvages. Leurs pollens sont exploités sur l'ensemble de la saison apicole et représentent la quasi exclusivité des ressources polliniques jusqu'au mois d'avril notamment avec les pollens de *Corylus* sp., de *Salix* sp., de type *Prunus*, de type *Taraxacum*, de Papaveraceae. Par ailleurs, les pollens provenant des espèces ligneuses représentent une forte proportion des espèces sauvages exploitées, pendant environ $\frac{3}{4}$ de la saison apicole, de janvier à juin (*Corylus*, *Salix*, *Quercus*, *Castanea*, *Rubus*, *Crataegus*). Aussi, la récolte de pollen de lierre en fin de saison apicole (septembre à novembre) est importante pour l'ensemble des colonies et constitue une des principales ressources exploitées par les abeilles en fin d'été et avant l'hivernage (Louveaux, 1958 ; Louveaux, 1959 ; Vezza *et al.*, 2006 ; Jacobs *et al.*, 2010 ; Garbuzov & Ratnieks, 2014). Il semble que ces espèces ligneuses soient très attractives et que leurs pollens présentent un intérêt nutritionnel essentiel pour le développement des colonies (Louveaux, 1958). Ces résultats mettent ainsi clairement en évidence le rôle essentiel pour l'Abeille domestique de la présence des éléments paysagers regroupant ces arbres ou arbustes, à savoir les bois, les bosquets et les haies, notamment en zones de grande culture (Frankl *et al.*, 2005). De nombreuses études ont également montré l'importance de ces surfaces « sauvages » pour la communauté des insectes auxiliaires mais aussi pour l'ensemble

de leurs prédateurs (Hinsley & Bellamy, 2000 ; Millán de la Peña *et al.*, 2003 ; Aviron *et al.*, 2005). Ces zones sauvages sont d'autant plus importantes qu'elles sont aussi moins affectées par les traitements mécaniques et chimiques (Freemark & Boutin, 1995 ; McLaughlin & Mineau, 1995 ; Schippers & Joenje, 2002 ; Billeter *et al.*, 2008).

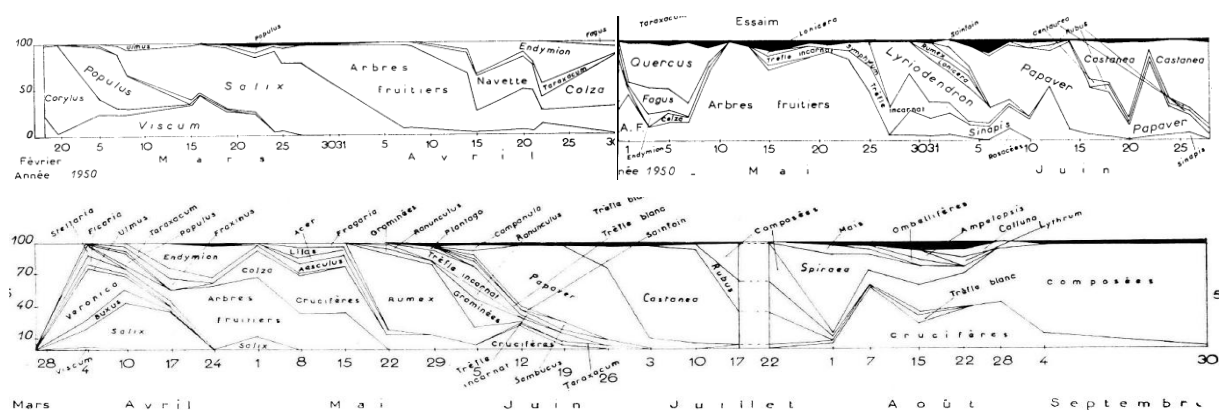
Les autres ressources végétales sauvages exploitées sont représentées par les plantes herbacées présentes principalement dans les prairies, les fossés et les bords de routes. Les profils polliniques révèlent que ces taxons (Asteraceae, type *Taraxacum*, Lamiaceae ou *Centaurea*) sont exploités sur l'ensemble de la saison apicole mais généralement en plus faible quantité sauf pour de rares espèces comme le coquelicot (Papaveraceae), espèce messicole présente en abondance dans certaines prairies et cultures de l'aire de butinage du rucher ML. La présence de ces plantes et des pollens associés nous informe en partie sur les pratiques agricoles menées au sein de l'aire de butinage et rendent compte notamment d'une application raisonnée d'herbicides et d'une utilisation limitée de fertilisants (Freemark & Boutin, 1995 ; Hald, 1999). En revanche, que ce soit sur le terrain ou dans les profils palynologiques, la présence du bleuet (*Centaurea cyanus*), autre espèce messicole, n'a pas été mise en évidence contrairement aux résultats de Louveaux (1958) où les abeilles, présentes dans un environnement de cultures, de prairies et de zones boisées, avaient récolté une importante quantité de pollen de bleuet. Une étude indépendante réalisée en Bourgogne dans un paysage similaire, en 1971, avait également révélé une importante collecte de pollen de bleuet. L'auteur rapporte qu'en 2010, suite à de nombreuses modifications du paysage et une intensification agricole, le pollen de bleuet est toujours présent dans les récoltes mais en quantité moins importante (Méline, 2012). La mécanisation de l'agriculture avec un tri performant des graines de récoltes et l'achat des semences plutôt que l'ensemencement avec ses propres récoltes contribuent à une diminution du stock de graines et notamment des plantes messicoles. De plus, l'utilisation de produits chimiques favorise cette perte de stock avec l'utilisation de désherbant qui réduit fortement la production de graines et contribue à une diminution des plantes messicoles présentes dans le milieu (Cambecède, 2011).

Pour l'essentiel des plantes herbacées sauvages, leur plus grande dispersion au sein de l'aire de butinage rend vraisemblablement leurs découvertes et leurs récoltes plus difficiles pour les abeilles, et, bien qu'elles soient généralement attractives, elles sont ainsi moins utilisées. Les pollens des plantes cultivées sont retrouvés presque exclusivement au cours des mois d'été (*Helianthus*, *Zea mays*, *Fagopyrum*) pour l'ensemble des colonies et au mois d'avril en fonction de la disponibilité de colza dans l'aire de butinage. Quand ces pollens sont récoltés,

ils le sont majoritairement en grande quantité du fait de l'abondance et de la concentration spatiale de la ressource. La faible proportion des pollens de plantes cultivées sur les profils polliniques à l'échelle de la saison apicole confirme le rôle clé et incontournable rempli par les espèces sauvages dans le développement et le maintien des colonies, et plus généralement de la communauté des pollinisateurs, des auxiliaires de cultures et des espèces qui en dépendent (Green *et al.*, 1994 ; Burel, 1996 ; Michel *et al.*, 2006). En effet, les pollens (provenant d'espèces sauvages ou cultivées) jouent un rôle clef dans l'alimentation des abeilles grâce notamment à leur teneur en protéines et il est connu que cette quantité dernière varie en fonction des pollens (Louveaux, 1958). La teneur protéique de certains pollens est importante, comme notamment celles de *Prunus communis*, *Corylus avellana*, *Quercus* sp., *Phacelia tanacetifolia*, *Echium vulgare*, ou encore *Lotus corniculatus*, *Malus* spp., *Trifolium pratense* (Hügel, 1962 ; De Simone *et al.*, 1980 ; Pernal & Currie, 2000 ; Bruneau, 2006 ; Szczesna *et al.*, 2006 ; Ozler *et al.*, 2009 ; Santos *et al.*, 2009 ; Sommerville, 2011 ; Alaux *et al.*, 2012 ; Di Pasquale *et al.*, 2013, annexes 17 et 18), ce qui permet, dans le cas de notre étude et des espèces floristiques qui ont été identifiées, de déduire que les colonies disposent d'un bon apport protéique en début de saison apicole. En revanche, certaines espèces comme *Betula pendula*, *Juglans regia*, *Fagopyrum esculentum*, *Artemisia* sp. et *Helianthus annuus* renferment de faibles quantités de protéines dans leurs pollens. De plus, d'autres espèces comme *Brassica napus* ou *Zea mays* peuvent présenter de faibles quantités de protéines en fonction de la nature du sol (Lau & Stephenson, 1994). Ainsi la présence simultanée de ces taxons polliniques (*Betula*, *Brassica napus*, ...) au même moment dans les échantillons de pollen peut entraîner des carences protéiques et une réduction de la surface du couvain (Höcherl *et al.*, 2012). Dans les colonies du rucher V en 2011, la présence des pollens *Helianthus*, *Zea mays* et *Fagopyrum* en été a pu entraîner une baisse de surface en couvain sans que la quantité de réserve soit nécessairement diminuée (Kleinschmidt & Kondos, 1978). De façon générale, ce cas de figure ne s'est pas reproduit et laisse à penser que les pollens accompagnants, ont permis de palier ces carences protéiques et de satisfaire aux besoins en acides aminés nécessaires au développement des abeilles (voir e.g. De Groot, 1953). Le maintien annuel de colonies en zones de stricte monoculture sous-entendrait soit un nourrissage régulier des abeilles soit des vols de prospection et de récolte très longs pour les butineuses, affectant leur longévité ainsi que les chances de survie de la colonie.

Dans notre étude, les limites rencontrées lors de l'identification des pollens n'ont pas permis de différencier certains taxons et de définir la proportion de pollen issu de plantes sauvages ou de plantes cultivées. La comparaison avec les données phytosociologiques de terrain permet toutefois de supposer que ces pollens (en particulier Fabaceae) sont, pour l'essentiel,

Nos résultats sont semblables à ceux obtenus en 1950 puis en 1955, par Louveaux (1958, 1959) à Bures-sur-Yvette (Essone), que ce soit pour des colonies déjà présentes sur le site ou en provenance d'autres régions et introduites (Figure 78). A la fin de l'hiver et au printemps, les pollens exploités proviennent de ressources sauvages ligneuses comme le saule, le noisetier ou encore les arbres fruitiers, mais aussi de quelques ressources sauvages herbacées comme le pissenlit ou les Papaveraceae, ou cultivées comme le colza. Au mois de juin, le châtaignier est présent, accompagné de pollens de centaurée, de Papaveraceae ou encore de *Rubus*. En été, les ressources privilégiées sont les crucifères (Brassicaceae), le maïs, mais également des espèces sauvages herbacées. En fin de saison, les colonies récoltent une faible diversité de pollen, principalement constituée de composés (Asteraceae).



Une étude réalisée dans l'Ontario (Canada) en 1976 (Adams *et al.*, 1978) a mis en évidence l'exploitation préférentielle de ressources arborées, et aussi de quelques espèces sauvages herbacées. En été, les abeilles exploitent des espèces provenant de cultures fourragères, de plantes messicoles et d'arbustes.

Serverson et Parry (1981) ont réalisé une étude sur la chronologie des ressources pollinifères au sein de colonies dans le Wisconsin (Amérique du Nord). Ils ont constaté que les ressources provenaient principalement d'arbres du mois d'avril au mois de mai, puis d'arbustes jusqu'au mois de juin et enfin d'herbacées jusqu'au mois de septembre. Les ressources exploitées dans le cadre de notre étude au cours de la saison apicole sont comparables à celles identifiées par les deux co-auteurs bien que le châtaignier, absent en Amérique du Nord, semble être remplacé par du trèfle et du sumac. L'été, Serverson et Parry (1981) retrouvent les pollens de cultures telles que le maïs ou le sarrasin.

Enfin, si l'on compare nos données à celles obtenues dans le Poitou-Charentes entre 2008 et 2011 en agrosystème céréalier intensif, on remarque des différences importantes en terme d'occupation du sol ce qui pourrait expliquer une exploitation différente des ressources par l'abeille. En effet, les ressources polliniques annuelles (avril à octobre) proviennent à 33,2 % de cultures, à 26,8 % d'adventices des cultures, à 25,7 % des espaces forestiers et des haies, à 11,4 % des prairies et à 2,9 % des espèces ornementales (Requier *et al.*, 2012). C'est en août que le pic de collecte des pollens issus des cultures est atteint et s'élève à 70 % de la récolte pollinique. Ainsi dans un paysage agricole plus intensif, les ressources cultivées constituent une part plus importante des pollens récoltés par l'abeille.

En revanche, il semble que le paysage et les essences locales disponibles liées à la phénologie induisent l'exploitation des ressources dans une chronologie propre. Un suivi palynologique réalisé sur des abeilles africanisées « sauvages » au Texas, dans un paysage présentant des surfaces boisées et des prairies, a montré des résultats différents (Baum *et al.*, 2004). Les pollens exploités en février, avril et à la fin du mois de mai proviennent essentiellement d'espèces herbacées. Les arbustes sont exploités préférentiellement en mars et au début du mois de mai. Les abeilles collectent le pollen des arbres en juin, juillet, début août et en octobre. En fin de saison, à l'exception du mois d'octobre, les pollens de plantes herbacées sont les mieux représentés.

Ainsi, malgré les modifications paysagères, les abeilles semblent rechercher et exploiter depuis 60 ans les mêmes ressources à quelques exceptions près. Plusieurs hypothèses peuvent-être émises quand à l'affaiblissement des colonies constaté aujourd'hui et l'implication des ressources alimentaires dans celui-ci : i/ l'effort de prospection pour l'exploitation d'espèces végétales ciblées pourrait réduire la longévité des abeilles et mettre en péril la colonie, ii/ les ressources exploitées aujourd'hui en remplacement de celles qui pouvait l'être autrefois n'ont pas le même intérêt nutritionnel et peuvent être la source de carences alimentaires pour les abeilles avec les conséquences que cela implique, iii/ la richesse pollinique des pelotes de pollen est moins importante en lien avec une perte

d'habitats et de richesse floristique impliquant un apport nutritionnel moins diversifié et des carences éventuelles.

Les espèces sauvages semblent donc constituer des ressources fondamentales et essentielles pour la reprise de la colonie en début de saison apicole et pour sa pérennité d'une année sur l'autre en fin de saison apicole.

IV.2.3. Ressources mellifères exploitées par l'abeille en paysage de grande culture

Durant les saisons apicoles 2011 et 2012, un total de 99 pollens différents, représentant 58 familles, ont été identifiés dans les échantillons de miel. Le nombre de taxons identifiés dans le miel est ainsi nettement moins important que dans les pelotes de pollen, ce qui pourrait laisser penser que le miel est moins riche en ressources floristiques que les pelotes de pollen. Cependant, plusieurs éléments montrent que cet écart de ressources serait moins important qu'il n'y paraîtrait.

- Les pollens ne sont pas une caractéristique suffisante pour déterminer l'origine d'un miel, et il est important de prendre en compte les paramètres physico-chimiques et organoleptiques pour une identification précise (Von der Ohe, 2004 ; Minsart *et al.*, 2013). Une étude réalisée en Argentine a permis de spécifier l'origine géographique des miels et donc l'environnement dans lequel il a été produit, simplement sur la base d'analyses chimiques et de recherche de paramètres tels que le glucose, le pH ou encore les acides aminés (Baroni *et al.*, 2009).
- Les conditions météorologiques peuvent avoir une incidence sur la disponibilité et l'exploitation de nectar et ainsi sur la richesse pollinique du miel. En effet, les pluies peuvent diluer le nectar et ainsi diminuer sa qualité en sucre notamment (Alva Kenoyer, 1916). La quantité de miellat disponible sera également affectée par ce processus. A l'inverse, en cas de forte chaleur, particulièrement en été, la présence de fleur et donc de nectar peut être limitée et la température peut avoir un effet repressur sur la photosynthèse qui contribue à la production de nectar (Bruneau, 2012). En revanche, une température élevée peut être favorable à la récolte de nectar par les abeilles qui semblent préférer récolter une source de sucre diluée à 30°C que concentrée à 10°C (Tan *et al.*, 2014) sachant que la température optimum pour la sécrétion du nectar par la plante se situe entre 12 et 25 °C (Pesson & Louveaux, 1984).

Ainsi l'analyse palynologique de miel sous-évalue certainement le nombre de ressources floristiques explorées par les abeilles.

De plus certains pollens sont sur-représentés (présents en très grande quantité dans les échantillons de miel) et ne reflètent pas nécessairement une forte proportion de nectar ou de miellat provenant de l'espèce végétale productrice. C'est le cas notamment pour le châtaignier et l'exemple de nos échantillons de récolte de miel qui présentent le pollen *Castanea* comme dominant mais qui sont caractérisés « miel toutes fleurs ». A l'inverse, des pollens sous-représentés identifiés dans des échantillons de miel attestent la présence de nectar provenant de l'espèce productrice dans le miel (Persano Oddo *et al.*, 1995 ; Persano Oddo & Piro, 2004 ; von der Ohe, 2004). C'est le cas pour les pollens de *Robinia*, *Tilia* et *Helianthus*. Ainsi les profils palynologiques ne permettent pas de connaître les proportions des différents nectars et miellats et donc les proportions des différentes ressources floristiques entrant dans la composition du miel. Néanmoins, les pollens restent un des moyens utilisés pour caractériser et contrôler les miels.

La qualité et la quantité des pollens identifiés dans les échantillons de miel varient d'une colonie à l'autre et révèlent des stratégies de butinage différentes en fonction de chaque colonie pour la collecte du nectar. Ces différences pourraient néanmoins s'avérer artificielles en raison de la propension des abeilles à mélanger les récoltes lors du stockage et du déstockage des réserves en fonction des besoins de la colonie. Cela se traduit par une couleur ou encore une texture différente des miels étudiés. En dépit de différences notables entre miels produits par les différentes colonies, le pollen d'ajonc semble être présent uniquement dans les échantillons de miel produit par les colonies importées de l'île d'Ouessant. Sur l'île d'Ouessant, l'ajonc est largement répandu contrairement aux sites métropolitains étudiés et il n'est pas impossible que les abeilles d'Ouessant aient acquis une capacité de « mémoire » des ressources nectarifères de leur territoire d'origine notamment grâce aux marqueurs olfactifs de cette ressource. En effet de nombreuses études ont pu montrer l'importance des odeurs florales et de l'apprentissage et la mémorisation de celles-ci dans la recherche des ressources, notamment le nectar (Reinhard *et al.*, 2004 ; Chaffiol *et al.*, 2005 ; Arenas & Farina, 2012). L'analyse des pelotes récoltées au cours de notre étude ne procure, en revanche, aucun indice laissant supposer que cet « effet mémoire » opère dans le cas des pollens.

Les stratégies engagées pour récolter les ressources mellifères ne semblent pas suivre un schéma particulier comme cela a été le cas pour les ressources pollinifères. Cela peut

s'expliquer par le fait que les ressources polliniques constituent une ressource principalement protéique alors que les ressources mellifères sont une ressource glucidique. Les critères de choix des ressources mellifères seraient moins marqués que ceux des ressources pollinifères qui ont un impact direct sur les abeilles et la santé de la colonie (Alaux *et al.*, 2010 ; DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2010 ; Foley *et al.*, 2012 ; Di Pasquale *et al.*, 2013 ; Corby-Harris *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2014).

IV.3. Quelles sont les ressources à privilégier en paysage de grande culture pour favoriser une apiculture et une agriculture durable ?

En dépit de différences notables dans la composition floristique des aires de butinage (238 à 242 espèces pour le rucher ML et 167 à 194 espèces pour le rucher V), les abeilles semblent exploiter des ressources, polliniques notamment, comparables d'une colonie à l'autre (entre 49 et 77 taxons polliniques pour les colonies du rucher ML et entre 44 et 61 pour le rucher V) et d'un rucher à l'autre (111 à 114 taxons polliniques pour le rucher ML et 91 à 99 pour le rucher V). Les abeilles butinent préférentiellement des espèces sauvages ligneuses en début de saison apicole (janvier à juin), puis des espèces cultivées et sauvages herbacées en été (juillet et août) puis des espèces cultivées et sauvages en fin de saison apicole (septembre à novembre) et cela en fonction des ressources disponibles dans l'aire de butinage. Il semble que cette stratégie soit commune à l'ensemble des colonies avec une exploitation des ressources sauvages dans un premier temps et des ressources cultivées dans un second temps. La présence de cultures fleuries en début de saison peut apporter une ressource supplémentaire. Il serait intéressant de savoir si un tel apport peut entraîner une augmentation de la richesse pollinique ou si cette ressource est intégrée aux ressources pollinifères au détriment d'espèces sauvages potentiellement intéressantes d'un point de vue nutritionnel, mais vraisemblablement moins abondantes. Les analyses réalisées dans cette étude ne permettent pas de mettre en évidence s'il s'agit d'un ajout ou d'une substitution de ressources polliniques. En revanche, il semble important de souligner une production de miel plus importante à cette période (avril-mai) de l'année pour les colonies situées à proximité de cultures fleuries telles que le colza (rucher ML) (Tableau 50). En ce qui concerne l'état général (quantité de couvain et de réserves), aucune différence n'a été constatée entre les colonies (Annexe 16). La présence de cultures fleuries à la sortie de l'hiver peut être l'assurance de ressources disponibles en grande quantité et favoriser l'accroissement de la colonie. En revanche, ces cultures peuvent être des sites propices à la contamination des

abeilles butineuses par des pesticides pouvant entraîner des conséquences néfastes sur le développement de la colonie.

Le [tableau 52](#), qui est une compilation de nos résultats, permet de voir que :

- Les surfaces cultivées représentent la majeure partie de l'occupation du sol des aires de butinage étudiées,
- Les pourcentages des fleurs sauvages butinées représentent la majorité des ressources polliniques exploitées pour les abeilles.

Tableau 52. Pourcentages des surfaces fleuries et des ressources polliniques exploitées par l'ensemble des colonies d'abeilles des rucher ML et V pour les saisons apicoles 2011 (fin avril à novembre) et 2012 (février à octobre pour ML et janvier à fin septembre pour V).

Rucher ML		Surfaces sauvages ligneuses et taxons d'espèces sauvages ligneuses	Surfaces sauvages herbacées et taxons d'espèces sauvages herbacées	Surfaces cultivées et taxons d'espèces cultivées	Taxons d'espèces sauvages et cultivées
2011	% de surfaces fleuries disponibles	12	30	58	–
	% de ressources polliniques exploitées	36	32	22	10
2012	% de surfaces fleuries disponibles	16	17	67	–
	% de ressources polliniques exploitées	57	20	8	15
Rucher V		Surfaces sauvages ligneuses et taxons d'espèces sauvages ligneuses	Surfaces sauvages herbacées et taxons d'espèces sauvages herbacées	Surfaces cultivées et taxons d'espèces cultivées	Taxons d'espèces sauvages et cultivées
2011	% de surfaces fleuries disponibles	7	25	68	–
	% de ressources polliniques exploitées	34	30	15	21
2012	% de surfaces fleuries disponibles	23	16	61	–
	% de ressources polliniques exploitées	47	21	5	27

Bien que les ressources floristiques disponibles soient moins riches en paysage de grande culture du nord-ouest de la France que dans d'autres paysages (comme nous avons pu le constater dans la première étude concernant quatre types paysagers), elles restent non négligeables et ce type de paysage demeure favorable à l'installation de ruchers sédentaires. Les risques liés au stress nutritionnel et à l'intoxication sont néanmoins à prendre en considération. Pour faciliter le maintien des colonies dans ce paysage tout en assurant la pollinisation des cultures, et en produisant du miel, il est important de disposer d'un état des lieux de l'environnement du rucher avant son installation définitive. Cette étude montre que la présence de certaines espèces végétales dans l'aire de butinage peut être un atout pour le développement de la colonie. En fonction i) des essences végétales inventoriées sur le terrain et donc adaptées au milieu, ii) de la phénologie des plantes ([Coste, 2000](#) ; [Fournier, 2001](#) ;

Aeschimann *et al.*, 2004), iii) des stratégies de butinage privilégiées par les colonies locales (Tableau 52) et iiiii) des risques identifiés, il est possible d'établir une liste indicative des espèces végétales à privilégier dans ce type de paysage pour une agriculture et une apiculture durables (Figure 79).

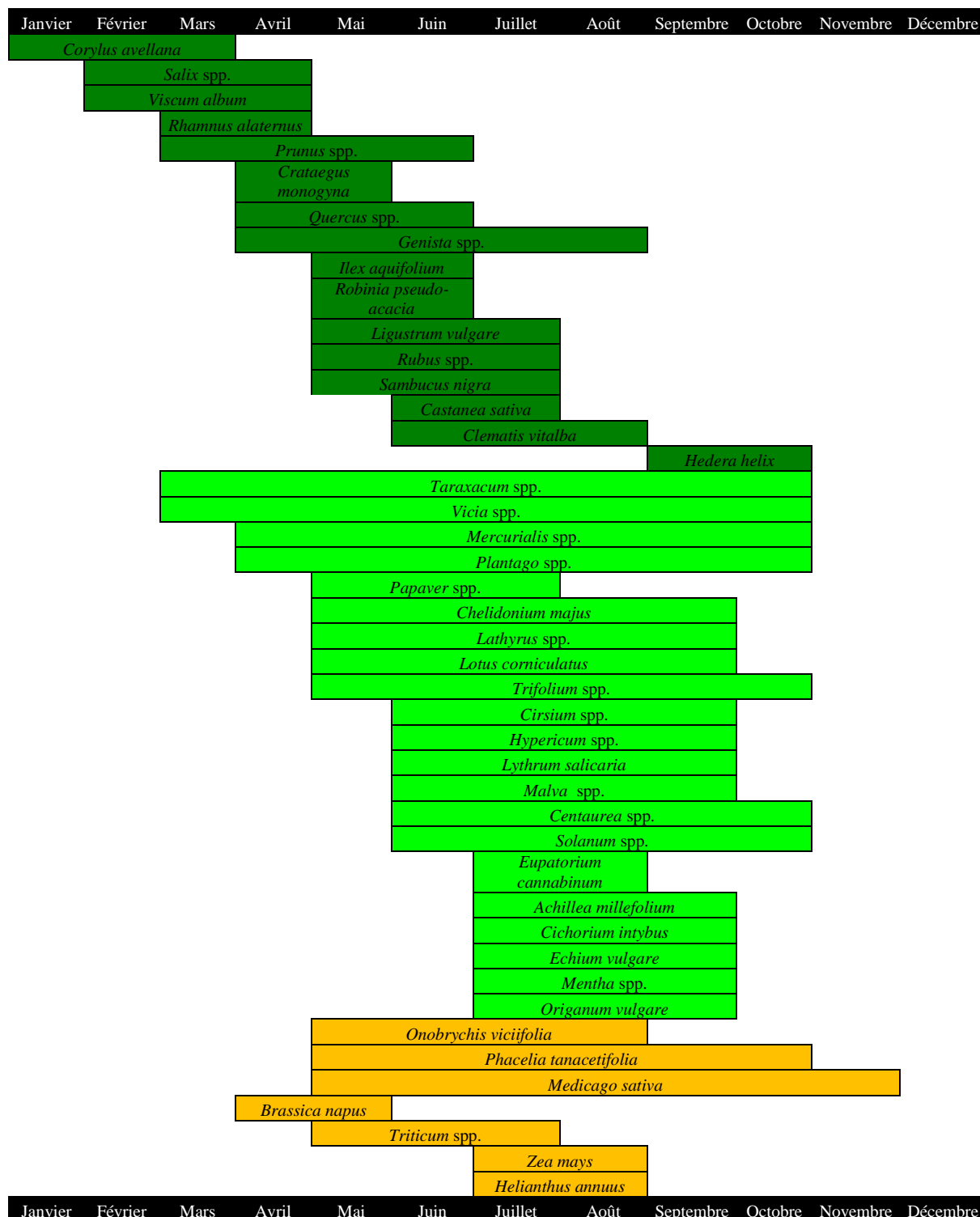
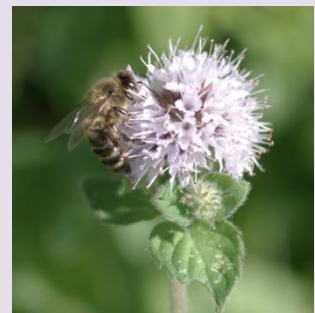
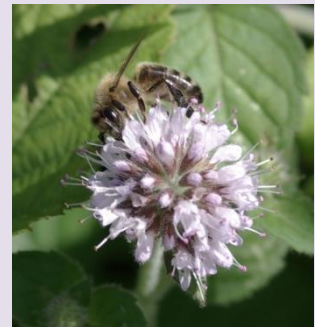
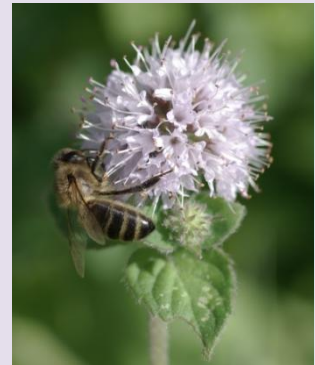
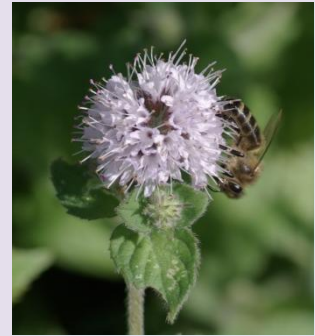


Figure 79. Espèces végétales à privilégier en paysage de grande culture du nord-ouest de la France pour une agriculture et une apiculture durables (espèces sauvages ligneuses en vert foncé, espèces sauvages herbacées en vert clair et espèces cultivées en orange) Nom vernaculaire en annexe 4.

Nos résultats sont donc bien en faveur de l'obligation du maintien des surfaces sauvages (ligneuses et herbacées) qui vont apporter, tout au long de la saison apicole, une diversité des ressources et permettre l'implantation de colonies d'Abeille mellifère dans des zones de grande culture telles que celles des Pays de la Loire.

Conclusion et perspectives



L'affaiblissement et la mortalité des colonies d'abeilles domestiques en France, en Europe et dans le monde ne semblent pas liés à une cause unique mais plutôt à une cause multifactorielle, impliquant l'action conjointe notamment des pesticides, des agents infectieux et de la quantité et de la qualité des ressources nutritionnelles (Oldroyd, 2007 ; Naug, 2009 ; vanEngelsdorp *et al.*, 2009 ; vanEngelsdorp & Meixner, 2010). Moins étudiées que pour les agents chimiques et biologiques, la modification et la raréfaction des ressources pollinifères et mellifères semblent avoir un impact important sur les abeilles et le développement des colonies. En effet, le pollen, qui constitue l'essentiel des apports protéiques, est à la base du développement de l'abeille, de son immunocompétence et de sa longévité, et lui permet également de faire face plus facilement aux autres facteurs de stress (Brodschneider & Crailsheim, 2010). Le nectar et le miellat, qui constituent l'essentiel des apports glucidiques, fournissent quant à eux l'énergie nécessaire aux abeilles pour accomplir leurs tâches dont l'activité de butinage. Ainsi, il est nécessaire que l'abeille puisse disposer de ressources diversifiées et suffisantes dans son environnement pour un développement optimal et pérenne de la colonie. Une meilleure connaissance des besoins de la colonie et un approfondissement des connaissances existantes sur les pollens notamment, leur identification et leurs teneurs en protéines et acides aminés, permettraient de mieux évaluer l'impact des ressources nutritionnelles dans le phénomène des pertes de colonies.

La disponibilité de ressources floristiques variées est nécessaire dans n'importe quel type de paysage et particulièrement en paysage de grande culture. Dans ce cas, les surfaces mono-spécifiques sont dominantes et laissent peu de place aux espaces naturels et semi-naturels. L'étude réalisée dans deux paysages de grande culture du nord-ouest de la France a permis de connaître les ressources disponibles, et les ressources réellement exploitées par les abeilles et de mettre en évidence les périodes de la saison apicole où les ressources cultivées, bien que diversifiées, ne seraient pas suffisantes pour subvenir aux besoins de la colonie. L'étude a en effet montré que les surfaces cultivées sont présentes sur de grandes étendues mais ponctuellement en fleurs au cours de la saison apicole. A l'inverse, les aires naturelles et semi-naturelles représentent de petites surfaces, dispersées dans l'aire de butinage, mais qui fleurissent pendant toute la saison apicole. De plus les surfaces cultivées peuvent représenter des déserts alimentaires pour les abeilles, générés par des cultures d'un moindre intérêt nutritionnel. L'appauvrissement en ressources peut également être lié à la rotation des cultures, à la culture de variétés qui produisent peu de nectar ou de pollen (Pierre *et al.*, 1999), et à l'absence d'espèces messicoles. Enfin, les cultures peuvent être sources de contaminations et d'intoxications pour les abeilles suite à l'usage de pesticides et/ou de

plantes transgéniques qui, par l'intermédiaire du pollen et/ou du nectar, sont susceptibles de transmettre des protéines à effets directs sur la physiologie de l'abeille comme l'inhibition d'enzyme du système digestif (Keil *et al.*, 2001 ; Malone & Pham-Dèlègue, 2001).

Il est établi que les colonies d'abeilles domestiques jouent un rôle important dans la pollinisation des cultures (Gallai *et al.*, 2009 ; Garibaldi *et al.*, 2013). Aussi dans le but de contribuer à une agriculture et une apiculture durable en Pays de la Loire, plusieurs mesures élémentaires peuvent être envisagées :

- réaliser un audit de territoire avant l'implantation de ruchers sédentaires,
- limiter l'usage d'intrants chimiques qui nuisent à la présence d'espèces sauvages notamment en paysage agricole (plantes messicoles, diversité floristique...) ou nuire aux pollinisateurs (Freemark & Boutin, 1995 ; Kleijn & van der Voort, 1997 ; De Snoo & van der Poll, 1999 ; Frankl *et al.*, 2005 ; Pywell *et al.*, 2007),
- préserver les ressources sauvages présentes en sauvegardant les surfaces boisées, les haies ou encore les prairies (Dover & Sparks, 2000 ; Hopwood, 2008 ; Bagella *et al.*, 2013) et en pratiquant une gestion permettant l'apparition de fleurs au sein de ces milieux comme une fauche tardive et/ou un pâturage extensif pour les prairies, un broyage partiel pour les bords de route (comme cela est le cas dans certaines communes) (Schipper & Joenje, 2002 ; Plantureux *et al.*, 2005 ; Hudewenz *et al.*, 2012),
- favoriser une diversité culturelle avec des espèces qui présentent un intérêt pour l'abeille et ne nécessitent pas ou peu de traitements phytosanitaires comme des cultures fourragères (phacélie, mélange de trèfles et de sainfoin, ...). L'exemple des légumineuses montre que l'utilisation de celles-ci peut présenter un intérêt agricole grâce à i/ un fourrage riche en protéines pour le bétail (bien supérieur au maïs par exemple), ii/ l'apport d'azote naturel dans les sols, et un intérêt écologique grâce à la réduction d'azote chimique dont la production et l'utilisation sont des sources de pollution (Pointereau, 2001),
- aménager des aires de plantes natives, comme les haies, qui sont profitables aux insectes qui eux-mêmes ont un impact positif sur la production des cultures (Carvalho *et al.*, 2012 ; Korpela *et al.*, 2013).

L'ensemble des mesures préconisées pourrait générer une plus-value économique sur l'agriculture grâce à la pollinisation mais aussi grâce à la présence d'espèces prédatrices de ravageurs des cultures (Burel *et al.*, 2013), et sur l'apiculture avec un meilleur développement

des colonies²⁰ et une récolte optimisée des produits de la ruche. Ces mesures présenteraient également un intérêt écologique avec une diversification de la flore et de la faune, notamment de la mésofaune avec les pollinisateurs sauvages qui ont une pollinisation complémentaire des abeilles (Greenleaf & Kremer, 2006 ; Blüthgen & Klein, 2011 ; Breeze *et al.*, 2011). En retour, les pollinisateurs exerceront leur rôle bénéfique sur les plantes entomophiles pérennes qu'il conviendrait de préserver dans un contexte paysager de grande culture tel que défini dans cette étude.



²⁰ Privilégier les colonies locales qui sont adaptées à l'environnement plutôt que d'introduire des colonies provenant d'autres régions ou pays. Dans le cadre de notre étude, les colonies locales se sont avérées être de meilleures productrices de miel que les colonies d'Ouessant.

Références bibliographiques



- Adams, R.J., Manville, G.C., McAndrews, J.H., 1978. Comparison of pollen collected by a honey bee colony with a modern wind-dispersed pollen assemblage. *The Canadian Field Naturalist* 92, 359-368.
- Aeschimann, D., Lauber, K., Moser, D., Theurillat, J.P., 2004. *Flora Alpina*. Editions Belin, Paris, 2670p.
- Afik, O., Dag, A., Shafir, S., 2008. Honeybee, *Apis mellifera*, round dance is influenced by trace components of floral nectar. *Animal Behaviour* 75, 371-377.
- Agger, P., Brandt, J., 1988. Dynamics of small biotopes in Danish agricultural landscapes. *Landscapes Ecology* 1, 227-240.
- Agreste – La statistique, l'évaluation et la prospective agricole [en ligne]. Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/> [consulté le 16 juin 2012].
- Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D., Le Conte, Y., 2010. Diet effects on honeybee immunocompetence. *Biology Letters* 6, 562-565.
- Alm, J., Ohnmeiss, T.E., Lanza, J., Vriesenga, L., 1990. Preference of cabbage white butterflies and honey bees for nectar that contains amino acids. *Oecologia* 84, 53-57.
- Altieri, M.A., Whitcomb, W.H., 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. *American Society for Horticultural Science* 14, 12-18.
- Alva Kenoyer, L., 1916. Environmental influences of nectar secretion. *Research Bulletin* 37.
- Arenas, A., Farina, W.M., 2012. Learned olfactory cues affect pollen-foraging preferences in honeybees, *Apis mellifera*. *Animal Behaviour* 83, 1023-1033.
- Aronne, G., Giovanetti, M., Guarracino, M.R., de Micco, V., 2012. Foraging rules of flower selection applied by colonies of *Apis mellifera*: ranking and associations of floral sources. *Functional Ecology* 26, 1186-1196.
- Aufauvre, J., Biron, D.G., Vidau, C., Fontbonne, R., Roudel, M., Diogon, M., Viguès, B., Belzunces, L.P., Delbac, F., Blot, N., 2012. Parasite-insecticide interactions: a case study of *Nosema ceranae* and fipronil synergy on honeybee. *Scientific Reports* 2.

- Aviron, S., Burel, F., Baudry, J., Schermann, N., 2005. Carabid assemblages in agricultural landscapes: impacts of habitat features, landscape context at different spatial scales and farming intensity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108, 205-217.
- Aymonin, G., 1962. Les messicoles vont-elles disparaître ? *Science et Nature* 49, 3-9.
- B**aessler, C., Klotz, S., 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115, 43-50.
- Bagella, S., Satta, A., Floris, I., Caria, M.C., Rossetti, I., Podani, J., 2013. Effects of plant community composition and flowering phenology on honeybee foraging in Mediterranean sylvo-pastoral systems. *Applied Vegetation Science* 16, 689-697.
- Balayiannis, G., Balayiannis, P., 2008. Bee honey as an environmental bioindicator of pesticides' occurrence in six agricultural areas of Greece. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55, 462-470.
- Baroni, M.V., Arrua, C., Nores, M.L., Fayé, P., Díaz, M. del P., Chiabrando, G.A., Wunderlin, D.A., 2009. Composition of honey from Córdoba (Argentina): assessment of North/South provenance by chemometrics. *Food Chemistry* 114, 727-733.
- Barr, C., Bunce, R.G.H., Parr, T.W., 1994. Land use, agriculture and the environment. In: *Annual Report of the Institute of Terrestrial Ecology*.
- Baudière, A., Serve, L., 1975. Les groupements végétaux du Plade Gorra-Blanc (massif du Puigmal, Pyrénées Orientales). Essai d'interprétation phytosociologique et phytogéographique. *Naturalia Monspeliensis: Série Botanique* 25, 5-21.
- Baudry, J., Bunce, R.G., Burel, F., 2000. Hedgerows: an international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management* 60, 7-22.
- Baum, K.A., Rubink, W.L., Coulson, R.N., Bryant, V.M., 2004. Pollen selection by feral honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies in a coastal prairie landscape. *Environmental Entomology* 33, 727-739.
- Beekman, M., Ratnieks, F.L.W., 2000. Long-range foraging by the honey-bee, *Apis mellifera* L. *Functional Ecology* 14, 490-496.

- Belzunces, L.P., Tchamitchian, S., Brunet, J-L., 2012. Neural effects of insecticides in the honey bee. *Apidologie* 43, 348-370.
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18, 182-188.
- Biesmeijer, J.C., Roberts, S.P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A.P., Potts, S.G., Kleukers, R., Thomas, C.D., Settele, J., Kunin, W.E., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 21, 351-354.
- Bilandžić, N., Đokić, M., Sedak, M., Kolanović, B.S., Varenina, I., Končurat, A., Rudan, N., 2011. Determination of trace elements in Croatian floral honey originating from different regions. *Food Chemistry* 128, 1160-1164.
- Billeter, R., Liira, J., Bailey, D., Bugter, R., Arens, P., Augenstein, I., Aviron, S., Baudry, J., Bukacek, R., Burel, F., Cerny, M., De Blust, G., De Cock, R., Diekötter, T., Dietz, H., Dirksen, J., Dormann, C., Durka, W., Frenzel, M., Hamersky, R., Hendrickx, F., Herzog, F., Klotz, S., Koolstra, B., Lausch, A., Le Coeur, D., Maelfait, J.P., Opdam, P., Roubalova, M., Schermann, A., Schermann, N., Schmidt, T., Schweiger, O., Smulders, M.J.M., Speelmans, M., Simova, P., Verboom, J., Van Wingerden, W.K.R.E., Zobel, M., Edwards, P.J., 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *Journal of Applied Ecology* 45, 141-150.
- Blüthgen, N., Klein, A.M., 2011. Functional complementarity and specialisation: the role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology* 12, 282-291.
- Boudouresque, C.F., 2013. *Manuel de redaction scientifique et technique*. Edition 2013-2014. MOI (Mediterranean Institute of Oceanography), Aix-Marseille Université, Marseille, 86p.
- Bournérias, M., Bock, C., 2006. *Le genie des végétaux – Des conquérants fragile*. Editions Belin - Pour la science, Paris, 287p.
- Braun-Blanquet, J., Roussine, N., Negre, R., 1952. *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*. Edition CNRS, Paris, 292p.
- Bray, JR., Curtis, JT., 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27, 325-349.

- Breeze, T.D., Bailey, A.P., Balcombe, K.G., Potts, S.G., 2011. Pollination services in the UK: how important are honeybees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 142, 137-143.
- Brodschneider, R., Crailsheim, K., 2010. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie* 41, 278-294.
- Bruneau, E., 2006. Clefs pour l'alimentation. *Abeilles & Cie* 113, 14-17
- Bruneau, E., 2012. Nectaires et nectar. *Abeilles & Cie*.
- Burel, F., 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 15, 169-190.
- Burel, F., Baudry, J., 1990. Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. *Landscape Ecology* 4, 197-210.
- Burel, F., Baudry, J., 1995a. Social, aesthetic and ecological aspects of hedgerows in rural landscapes as a framework for greenways. *Landscape and Urban Planning* 33, 327-340.
- Burel, F., Baudry, J., 1995b. Species biodiversity in changing agricultural landscapes: a case study in the Pays d'Auge, France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55, 193-200.
- Burel, F., Baudry, J., 1999. Des paysages passés aux paysages anthropisés actuels. - In: *Ecologie du paysage Concepts, méthodes et applications*, Editions Tec & Doc – Lavoisier, Paris, 362 p.
- Burel, F., Baudry, J., Butet, A., Clergeau, P., Delettre, Y., Le Coeur, D., Dubs, F., Morvan, N., Paillat, G., Petit, S., Thenail, C., Brunel, E., Lefeuvre, J.C., 1998. Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. *Acta Oecologica* 19, 47-60.
- Burel, F., Lavigne, C., Marshall, E.J.P., Moonen, A.C., Ouin, A., Poggio, S.L., 2013. Landscape ecology and biodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 166, 1-2.
- Camazine, S., Crailsheim, K., Hrassnigg, N., Robinson, G.E., Leonhard, B., Kropiunigg, H., 1998. Protein trophallaxis and the regulation of pollen foraging by honey bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie* 29, 113-126.
- Cambecèdes, 2011. *Plan national d'action en faveur des plantes messicoles*, 179p.

- Carvalho, L.G., Kunin, W.E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W.N., Fox, R., Groom, Q., Hennekens, S., Van Landuyt, W., Maes, D., Van de Meutter, F., Michez, D., Rasmont, P., Ode, B., Potts, S.G., Reemer, M., Roberts, S.P.M., Schaminée, J., WallisDeVries, M.F., Biesmeijer, J.C., 2013. Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology Letters* 16, 870-878.
- Carvalho, L.G., Seymour, C.L., Nicolson, S.W., Veldtman, R., 2012. Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields: mango as a case study. *Journal of Applied Ecology* 49, 1373-1383.
- Carvalho, F.P., 2006. Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science and Policy* 9, 685-692.
- Celli, G., Maccagnani, B., 2003. Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology* 56, 137-139.
- Chaffiol, A., 2005. Prior classical olfactory conditioning improves odour-cued flight orientation of honey bees in a wind tunnel. *Journal of Experimental Biology* 208, 3731-3737.
- Chauzat, M.P., Martel, A.C., Cougoule, N., Porta, P., Lachaize, J., Zeggane, S., Aubert, M., Carpentier, P., Faucon, J.P., 2011. An assessment of honeybee colony matrices, *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) to monitor pesticide presence in continental France. *Environmental Toxicology and Chemistry* 30, 103-111.
- Clément, H., & collaborateurs, 2006. *Le traité rustica de l'apiculture*. Editions Rustica, Paris, deuxième édition juillet 2006, 528p.
- Cook, S.M., Sandoz, J. C., Martin, A.P., Murray, D.A., Poppy, G.M., Williams, I.H., 2005. Could learning of pollen odours by honey bees (*Apis mellifera*) play a role in their foraging behaviour? *Physiological Entomology* 30, 164-174.
- Corby-Harris, V., Jones, B.M., Walton, A., Schwan, M.R., Anderson, K.E., 2014. Transcriptional markers of sub-optimal nutrition in developing *Apis mellifera* nurse workers. *BMC Genomics* 15, 134.
- Coste, H., 1937. *Flore descriptive et illustrée de la France de la Corse et contrées limitrophes*. Editions Librairie des sciences et des arts, Paris, 1103p.

- Crailsheim, K., 1990. The protein balance of the honey bee worker. *Apidologie* 21, 417-429.
- Crailsheim, K., Schneider, L.H.W., Hrassnigg, N., Bühlmann, G., Brosch, U., Gmeinbauer, R., Schöffmann, B., 1992. Pollen consumption and utilization in worker honeybees (*Apis mellifera carnica*): Dependence on individual age and function. *Journal of Insect Physiology* 38, 409-419.
- Cranmer, L., McCollin, D., Ollerton, J., 2011. Landscape structure influences pollinator movements and directly affects plant reproductive success. *Oikos* 121, 562-568.
- D**afni, A., Lehrer, M., Keyan, P.G., 1997. Spatial flower parameters and insect spatial vision. *Biological Reviews* 72, 239-282.
- De Foucault, B., 1980. Les prairies permanentes du bocage virois (Basse-Normandie, France). Typologie phytosociologique et essai de reconstitution des séries évolutives herbagères. *Documents Phytosociologiques* 5, 1-109.
- De Franceschi, D., SagaScience. La végétation au cours des temps géologique [en ligne]. Disponible sur : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/decouv/articles/chap3/deFranceschi.html> [consulté le 16 juin 2014].
- De Groot, A.P., 1953. Protein and aminoacid requirement of the honey bee (*Apis mellifica*), *Physiologia Comparata et d'Oecologia* 3,197-285
- De Simone, F., Senatore, F., Sica, D., Zollo, F., 1980. Free amino acids from pollens. *Biochemical Systematics and Ecology* 8, 77-79.
- De Snoo, G.R., van der Poll, R.J., 1999. Effect of herbicide drift on adjacent boundary vegetation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 73, 1-6.
- Deckers, B., Hermy, M., Muys, B., 2004. Factors affecting plant species composition of hedgerows: relative importance and hierarchy. *Acta Oecologica* 26, 23-37.
- Decourtye, A., Armengaud, C., Renou, M., Devillers, J., Cluzeau, S., Gauthier, M., Pham-Delègue, M.H., 2004. Imidacloprid impairs memory and brain metabolism in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 78, 83-92.

- DeGrandi-Hoffman, G., Chen, Y., Huang, E., Huang, M.H., 2010. The effect of diet on protein concentration, hypopharyngeal gland development and virus load in worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Insect Physiology* 56, 1184-1191.
- Depauw, M.C., Bruneau, E., 2005. Le colza, du pour et du contre. *Abeille & Cie* 105, 12-13.
- Devillers, J., Pham-Delègue, M.H., 2002. *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*. Editeurs Taylors & Francis, Philadelphia, USA, 332p.
- Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L.P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., Suchail, S., Brunet, J.-L., Alaux, C., 2013. Influence of pollen nutrition on honey bee health: do pollen quality and diversity matter? *PLoS ONE* 8, e72016.
- Directive 2014/63/UE du Parlement Européen et du Conseil du 15 mai 2014.
- Dover, J., Sparks, T., 2000. A review of the ecology of butterflies in British hedgerows. *Journal of Environmental Management* 60, 51-63.
- Dreller, C., Tarpy, D.R., 2000. Perception of the pollen need by foragers in a honeybee colony. *Animal Behaviour* 59, 91-96.
- Ducieux, G., 2002. *Introduction à la botanique*. Editions Belin, Paris, 255p.
- Duff, S.R., Furgala, B., 1986. Pollen trapping honey bee colonies in Minnesota. *American Bee Journal*, 686-689.
- E**ckert, 1942. Pollen requirement by a colony of honeybee. *Journal of Economic Entomology* 35, 309-II.
- Engel, M.S., 2006. A giant honey bee from the Middle Miocene of Japan (Hymenoptera: Apidae). *American Museum Novitates* 3504, 1.
- Engel, M.S., Hinolosa-Díaz, I.A., Rasnitsyn, A.P., 2009. A honey bee from the Miocene of Nevada and the biogeography of *Apis* (Hymenoptera: Apidae: Apini). *Proceedings of the California Academy of Sciences* 60, 23-38.
- Ernault, A., Alard, D., 2011. Species richness of hedgerow habitats in changing agricultural landscapes: are α and γ diversity shaped by the same factors? *Landscape Ecology* 26, 683-696.

- Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.L., 2010. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* 14, 101-112.
- Farina, W.M., Grüter, C., Acosta, L., Cabe, S., 2007. Honeybees learn floral odors while receiving nectar from foragers within the hive. *Naturwissenschaften* 94, 55-60.
- Fenster, C.B., Armbruster, W.S., Wilson, P., Dudash, M.R., Thomson, J.D., 2004. Pollination syndromes and floral specialization. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35, 375-403.
- Fernández, P.C., Farina, W.M., 2005. Collective nectar foraging at low reward conditions in honeybees *Apis mellifera*. *Apidologie* 36, 301-311.
- Fewell, J., Winston, M., 1992. Colony state and regulation of pollen foraging in the honey bee, *Apis mellifera* L. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 30, 387-393.
- Fewell, J.H., Winston, M.L., 1995. Regulation of nectar collection in relation to honey storage levels by honey bees, *Apis mellifera*. *Behavioral Ecology* 7, 286-291.
- Flammant, J.C., 2010. *Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20^{ème} siècle*, 20p.
- Fluri, P., Pickhardt, A., Cottier, V., Charrière, J.D., 2001. *La pollinisation des plantes à fleurs par les abeilles – Biologie, Ecologie, Economie*, 27p.
- Foley, K., Fazio, G., Jensen, A.B., Hughes, W.O.H., 2012. Nutritional limitation and resistance to opportunistic *Aspergillus* parasites in honey bee larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* 111, 68-73.
- Fournier, P., 2011. *Les quatre flores de France*. Editions Dunod, Paris, 1103p.
- François, L., 1943. Semences et premières phases du développement des plantes commensales des végétaux cultivés. *Publication des stations et laboratoires de recherches agronomiques*, 10 p.
- Franck, P., Garnery, L., Solignac, M., Cornuet, J.M., 2000. Molecular confirmation of a fourth lineage in honeybees from the Near East. *Apidologie* 31, 167-180.

- Frankl, R., Wanning, S., Braun, R., 2005. Quantitative floral phenology at the landscape scale: is a comparative spatio-temporal description of “flowering landscapes” possible? *Journal for Nature Conservation* 13, 219-229.
- Freemark, K., Boutin, C., 1995. Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: a review with special reference to North America. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52, 67-91.
- Fresnaye, J., 1963. Les erreurs d’orientation des abeilles (dérive dans le rucher moderne). *Annales de l’Abeille* 6, 185-200.
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., Vaissière, B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68, 810-821.
- Garbuzov, M., Ratnieks, F.L.W., 2014. Ivy: an underappreciated key resource to flower-visiting insects in autumn. *Insect Conservation and Diversity* 7, 91-102.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhoffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., Hipolito, J., Holzschuh, A., Howlett, B., Isaacs, R., Javorek, S.K., Kennedy, C.M., Krewenka, K.M., Krishnan, S., Mandelik, Y., Mayfield, M.M., Motzke, I., Munyuli, T., Nault, B.A., Otieno, M., Petersen, J., Pisanty, G., Potts, S.G., Rader, R., Ricketts, T.H., Rundlof, M., Seymour, C.L., Schuepp, C., Szentgyorgyi, H., Taki, H., Tscharntke, T., Vergara, C.H., Viana, B.F., Wanger, T.C., Westphal, C., Williams, N., Klein, A.M., 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science* 339, 1608-1611.
- Gauvrit, L., 2012. France - Quelques traits marquants de l’évolution des structures agraires au XXe siècle [en ligne]. Disponible sur : http://www.agter.org/bdf/fr/corpus_chemin/fiche-chemin-132.html [consulté le 16 juin 2014].
- Giurfa, M., Núñez, J., 1992. Honeybees mark with scent and reject recently visited flowers. *Oecologia* 89, 113-117.

- Gonzalez, A., Rowe, C.L., Weeks, P.J., Whittle, D., Gilbert, F.S., Barnard, C.J., 1995. Flower choice by honey bees (*Apis mellifera* L.): sex-phase of flowers and preferences among nectar and pollen foragers. *Oecologia* 101, 258-264.
- Green, R.E., Osborne, P.E. and Sears E.J., 1994. The distribution of Passerine birds in hedgerows during the breeding season in relation to characteristics of the hedgerow and adjacent farmland. *Journal of Applied Ecology*, 31: 677-692.
- Greenleaf, S.S., Kremen, C., 2006. From the cover: wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 13890-13895.
- Greggers, U., Menzel, R., 1993. Memory dynamics and foraging strategies of honeybees. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 32, 17-29.
- Grimaldi, D., 1999. The co-radiations of pollinating insects and angiosperms in the Cretaceous. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 86, 373.
- Guillerme, S., Rhone, F., Maire, E., 2011. *Des abeilles et des arbres : pratiques, perceptions et dynamique paysagère en territoire de grande culture*. In : Eric Maire (Ed), *Seminaire Scientifique Abeille et Paysage*, Toulouse, 11 octobre 2011, 16p.
- Guinochet, M., 1973. *La phytosociologie. Collection d'écologie I*. Editions Masson, Paris, 227p.
- H**ald, A.B., 1999. Weed vegetation (wild flora) of long established organic versus conventional cereal fields in Denmark. *Annals of Applied Biology* 134, 307-314.
- Hallé, F., Aubert, S., Barabé, D., Barthélémy, D., 2008. *Aux origines des plantes. Des plantes anciennes à la botanique du XXI^e siècle*, Tome 1. Editions Fayard, Paris, 675p.
- Hendrickx, F., Maelfait, J. P., Van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M., Aviron, S., Augenstein, I., Billeter, R., Bailey, D., Bukacek, R., Burel, F., Diekötter, T., Dirksen, J., Herzog, F., Liira, J., Roubalova, M., Vandomme, V., Bugter, R., 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology* 44, 340-351.

- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., Decourtye, A., 2012. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336, 348-350.
- Hill, P.S.M., Wells, P.H., Wells, H., 1997. Spontaneous flower constancy and learning in honey bees as a function of colour. *Animal Behaviour* 54, 61-627.
- Hinsley, S., Bellamy, P., 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: a review. *Journal of Environmental Management* 60, 33-49.
- Hobbs, N.T., Galvin, K.A., Stokes, C.J., Lockett, J.M., Ash, A.J., Boone, R.B., Reid, R.S., Thornton, P.K., 2008. Fragmentation of rangelands: implications for humans, animals, and landscapes. *Global Environmental Change* 18, 776-785.
- Höcherl, N., Siede, R., Illies, I., Gätschenberger, H., Tautz, J., 2012. Evaluation of the nutritive value of maize for honey bees. *Journal of Insect Physiology* 58, 278-285.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D., Tschardtke, T., 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology* 44, 41-49.
- Hopwood, J.L., 2008. The contribution of roadside grassland restorations to native bee conservation. *Biological Conservation* 141, 2632-2640.
- Hoskins, W.G., 1955. *The Making of the English Landscape*. Editions Hodder and Stoughton, Londres, 240p.
- Hudewenz, A., Klein, A.M., Scherber, C., Stanke, L., Tschardtke, T., Vogel, A., Weigelt, A., Weisser, W.W., Ebeling, A., 2012. Herbivore and pollinator responses to grassland management intensity along experimental changes in plant species richness. *Biological Conservation* 150, 42-52.
- Hügel, M.F., 1962. Étude de quelques constituants du pollen. *Annales de l'Abeille* 5, 97-133.
- Husson, F., Josse, J., Lê, S. and Mazet, J., 2013. FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining with R.

- I**mdorf, A., Buehlmann, G., Gerig, L., Kilchenmann, V., Will, H., 1987. Überprüfung der Schätzmethode zur Ermittlung der Brutfläche und der Anzahl Arbeiterinnen in freifliegenden Bienenvölkern. *Apidologie* 18, 137-146.
- Ismail, A.H.M., Owayss, A.A., Mohanny, K.M., Salem, R.A., 2012. Evaluation of pollen collected by honey bee, *Apis mellifera* L. colonies at Fayoum Governorate, Egypt. Part 1: Botanical origin. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 12, 129-135.
- J**acobs, J.H., Clark, S.J., Denholm, I., Goulson, D., Stoate, C., Osborne, J.L., 2010. Pollinator effectiveness and fruit set in common ivy, *Hedera helix* (Araliaceae). *Arthropod-Plant Interactions* 4, 19-28.
- Janssens, X., Bruneau, E., Lebrun, P., 2006. Prévision des potentialités de production de miel à l'échelle d'un rucher au moyen d'un système d'information géographique. *Apidologie* 37, 351-365.
- Jaxtheimer, R., 1949. Die Ausnutzung des heimischen Flora durch die Bienen. *Archiv für Bienenkunde* 26, 17-29.
- K**earns, C.A., Inouye, D.W., Waser, N.M., 1998. Endangered mutualism: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 83-112.
- Keil, S., Romeis, J., Fluri, P., Bigler, F., 2002. *Les abeilles sont-elles menacées par l'utilisation de plantes transgéniques résistantes aux insectes ?*, 9 p.
- Kleijn, D., van der Voort, L.A.C., 1997. Conservation headlands for rare arable weeds: the effects of fertilizer application and light penetration on plant growth. *Biological Conservation* 81, 57-67.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274, 303-313.
- Kleinschmidt, G.J., Kondos, A.C., 1978. The effect of dietary protein on colony performance. *Australasian beekeeper* 79, 251-257.
- Köppler, K., Vorwohl, G., Koeniger, N., 2007. Comparison of pollen spectra collected by four different subspecies of the honey bee *Apis mellifera*. *Apidologie* 38, 341-353.

- Korpela, E.-L., Hyvönen, T., Lindgren, S., Kuussaari, M., 2013. Can pollination services, species diversity and conservation be simultaneously promoted by sown wildflower strips on farmland? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 179, 18-24.
- Kotthoff, U., Wappler, T., Engel, M., 2011. Miocene honey bees from the Randeck Maar of southwestern Germany (Hymenoptera, Apidae). *ZooKeys* 96.
- Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M., 1999. The second silent spring. *Nature* 400, 611-612.
- Kreft, H., Jetz, W., Mutke, J., Kier, G., Barthlott, W., 2008. Global diversity of island floras from a macroecological perspective. *Ecology Letters* 11, 116-127.
- L**ambert, O., 2012. Contamination chimique de matrices apicoles au sein de ruchers appartenant à des structures paysagères différentes. *Thèse de doctorat de l'université de Clermont-Ferrand*, France, 349p.
- Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., Pouliquen, H., 2012a. Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution* 170, 254-259.
- Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., L'Hostis, M., Wiest, L., Buleté, A., Delbac, F., Pouliquen, H., 2013. Widespread occurrence of chemical residues in beehive matrices from apiaries located in different landscapes of Western France. *PLoS ONE* 8, e67007
- Lambert, O., Veyrand, B., Durand, S., Marchand, P., Bizec, B.L., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Delbac, F., Pouliquen, H., 2012b. Polycyclic aromatic hydrocarbons: bees, honey and pollen as sentinels for environmental chemical contaminants. *Chemosphere* 86, 98-104.
- Lau, T.C., Stephenson, A., 1994. Effects of soil phosphorus on pollen production, pollen size, pollen phosphorus content, and the ability to sire seeds in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *Sexual Plant Reproduction* 7.
- Lavie, P., Fresnaye, J., 1963. Étude expérimentale de la trappe à pollen en position supérieure. *Annales de l'Abeille* 6, 277-301.
- Lê, S., Josse, J., Husson, F., 2008. An R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25, 1-18.

- Lecomte, J., 1956. Sur le vol des abeilles butineuses. *Zeitschrift für Tierpsychologie* 13, 26-30.
- Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., Burel, F., 2010. Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: a large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137, 143-150.
- L'Hostis, M., Pouliquen, H., 2011. Rapport annuel « L'Abeille mellifère (*Apis mellifera*) témoin de la pollution de l'environnement : étude sur un transect paysager en Pays de la Loire », 154p.
- Loibl, W., Toetzer, T., 2003. Modeling growth and densification processes in suburban regions—simulation of landscape transition with spatial agents. *Environmental Modelling and Software* 18, 553-563.
- Loram, A., Thompson, K., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2008. Urban domestic gardens (XII): the richness and composition of the flora in five UK cities. *Journal of Vegetation Science* 19, 321-330.
- Louveaux, J., 1958. Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifica* L). *Annales de l'Abeille* 1, 113–188.
- Louveaux, J., 1959. Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifica* L). (Fin). *Annales de l'Abeille* 2, 13–111.
- Louveaux, J., Maurizio, A., Vorwohl, G., 1970. Commission internationale de botanique apicole de l'U.I.S.B. : les méthodes de la mélikso-palynologie. *Apidologie* 1, 211–227.
- M**acDonald, D.W., Johnson, P.J., 2000. Farmers and the custody of the countryside: trends in loss and conservation of non-productive habitats 1981-1998. *Biological Conservation* 94, 221-234.
- Mačukanović-Jocić, M., Stevanović, Z.D., Mladenović, M., Jocić, G., 2011. Flower morphophysiology of selected Lamiaceae species in relation to pollinator attraction. *Journal of Apicultural Research* 50, 89-101.
- Malone, L.A., Pham-Delègue, M.H., 2001. Effects of transgene products on honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus* sp.). *Apidologie* 32, 287-304.

- Marcon, E., 2014. Mesures de la biodiversité [en ligne], 82p. Disponible sur : www.ecofog.gf.
- Marden, J.H., Waddington, K.D., 1981. Floral choices by honeybees in the relative distances to flowers. *Physiological Entomology* 6, 431-435.
- Maurizio, A., 1953. Weitere Untersuchungen an Pollenhöschchen. *Schweizerische Bienen-Zeitung (Beiheft)* 20.
- Maurizio, A., 1954. Pollenernährung und Lebensvorgänge bei der Honigbiene (*Apis mellifica*) Landwirtsch. *Jahrbuch der Schweizerische* 68, 115-182.
- McLaughlin, A., Mineau, P., 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 55, 201-212.
- Méline, L., 2012. La récolte de pollen par les abeilles – Etude de l'exploitation d'une flore locale du Haut-Clusinois, Comparaison de la récolte 2010 avec celle de 2011. *La Santé de l'Abeille* 247, 73-98.
- Michel, N., Burel, F., Butet, A., 2006. How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes? *Acta Oecologica* 30, 11-20.
- Michel, N., Burel, F., Legendre, P., Butet, A., 2007. Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France. *Landscape Ecology* 22, 1241-1253.
- Millán de la Peña, N., Butet, A., Delettire, Y., Morant, P., Burel, F., 2003. Landscape context and carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) communities of hedgerows in western France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 59-72.
- Minsart, L.A., Warnier, M., Bruneau, E., 2013. *Identification de l'origine botanique des miels sur base d'un « boosted decision tree »*. In : Jean-Marie Barbançon, Monique L'Hostis, Dorothée Ordonneau (Eds), Journée Scientifique Apicole, Aix-les-Bains, 11 octobre 2013, 100p.
- Monteiro, A.T., Fava, F., Hiltbrunner, E., Della Marianna, G., Bocchi, S., 2011. Assessment of land cover changes and spatial drivers behind loss of permanent meadows in the lowlands of Italian Alps. *Landscape and Urban Planning* 100, 287-294.

- Moravec, J., 1973. The determination of the minimal area of phytocenoses. *Folia Geobotanica Phytotaxonomica* 8, 23-47.
- Mouret, C., Lambert, O., Piroux, M., Beaudeau, F., Provost, B., Colin, M.E., L'Hostis, M., 2013. Prevalence of 12 infectious agents in field colonies of 18 apiaries in Western France. *Revue de Médecine Vétérinaire* 12, 577-582.
- Mullin, C.A., Frazier, M., Frazier, J.L., Ashcraft, S., Simonds, R., vanEngelsdorp, D., Pettis, J.S., 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS ONE* 5, e9754.
- Nabhan, G.P., Buchmann, S., 1997. *The fraying web of life*. In : World resources 2000-2001 UNDP, UNEP, WB, WRI, 136-138.
- Naug, D., 2009. Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biological Conservation* 142, 2369-2372.
- Ockinger, E., Smith, H.G., 2007. Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology* 44, 50-59.
- Oksanen, J., 2013. *Multivariate analysis of ecological communities in R: vegan tutorial*, 43 p [en ligne]. Disponible sur : cc.oulu.fi/~jarioska/opetus/metodi/vegantutor.pdf.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hare, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H., Wagner, H., 2013. Vegan: community ecology package [en ligne]. Disponible sur : cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf.
- Oldroyd, B.P., 2007. What's killing american honey bees? *PLoS Biology* 5, e168.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321-326.
- Olson, D.M., Wäckers, F.L., 2007. Management of field margins to maximize multiple ecological services. *Journal of Applied Ecology* 44, 13-21.
- Ozler, H., Pehlivan, S., Bayrak, F., 2009. Analysis of free amino acid and total protein content in pollen of some allergenic taxa. *Asian Journal of Plant Sciences* 8, 308-312.

- Pagès, J., 2010. *Statistiques générales pour utilisateurs-I.Méthodologie*. Editions Presses Universitaires de Rennes, 2^{ème} édition augmentée, Rennes, 280p.
- Pagès, J., 2013. *Analyse factorielle multiple avec R*. EDP Sciences, Paris, 253p.
- Pagès, JP., Cailliez, F., Escoufier, Y., 1979. Analyse factorielle : un peu d'histoire et de géométrie. *Revue de statistique appliquée* 27, 5-28.
- Palacio-Rabaud, V., 2000. La conduite des prairies en France : pratiques intensives et rendements élevées dans le nord-ouest, 12 p [en ligne]. Disponible sur : agreste.agriculture.gouv.fr.
- Parent, J., Feller-Demalsy, M.J., Richard, P.J.H., 1990. Les sources de pollen et de nectar dans la région de Rimouski, Québec, Canada. *Apidologie* 21, 431-445.
- Partap, U., 2011. The pollination role of honeybees. In: Editions Hepburn, H.R., Radloff, S.E., *Honeybees of Asia*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 227-255.
- Percival, M., 1947. Pollen collection by *Apis mellifera*. *New Phytologist* 46, 142-165.
- Percival, M., 1955. The presentation of pollen in certain Angiosperms and its collection by *Apis mellifica*. *New Phytologist* 54, 353-368.
- Pernal, S.F., Currie, R.W., 2000. Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie* 31, 387-409.
- Pernal, S.F., Currie, R.W., 2002. Discrimination and preferences for pollen-based cues by foraging honeybees, *Apis mellifera* L. *Animal Behaviour* 63, 369-390.
- Persano Oddo, L., Piro, R., 2004. Main European unifloral honeys: descriptive sheets. *Apidologie* 35, S38-S81.
- Persano Oddo, L., Piazza, M.G., Sabatini, A.G., Accorti, M., 1995. Characterization of unifloral honeys. *Apidologie* 26, 453-465.
- Perugini, M., Di Serafino, G., Giacomelli, A., Medrzyck, P., Sabatini, A.G., Persano Oddo, L., Marinelli, E., Amorena, M., 2009. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in bees (*Apis mellifera*) and honey in urban areas and wildlife reserves. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 57, 7440-7444.

- Perugini, M., Manera, M., Grotta, L., Abete, M.C., Tarasco, R., Amorena, M., 2011. Heavy metals (Hg, Cr, Cd and Pb) contamination in urban areas and wildlife reserves: honeybees as bioindicators. *Biological trace element research* 140, 170-176.
- Pesson, P., Louveaux, J., 1984. *Pollinisations et productions végétales*. Editions Quae, Versailles, 663p.
- Pettis, J.S., vanEngelsdorp, D., Johnson, J., Dively, G., 2012. Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*. *Naturwissenschaften* 99, 153-158.
- Pierre, J., Mesquida, J., Marilleau, R., Pham-Delegue, M.H., Renard, M., 1999. Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus*- quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. *Plant Breeding* 118, 471-476.
- Piroux, M., 2012. *Etude dynamique cas/témoin du développement d'abeilles (Apis mellifera) sur deux ruchers en Pays de la Loire: suivi écotoxicologique, écopathologique et évaluations des stratégies de butinage*. In : Actes des Journées de l'Ecole Doctorale des Sciences de la Vie, Santé, Agronomie, Environnement, Clermont-Ferrand, 24-25 mai 2012.
- Piroux, M., Lambert, O., Farrera, I., L'Hostis, M., Viguès, B., 2013a. *Pollen resources of Apis mellifera in a rural landscape of North-Western France*. In: Scientific program of XXXXIII International Apicultural Congress, Kiev (Ukraine), 29 september - 4 octobre 2013, 378p.
- Piroux, M., Lambert, O., Puyo, S., Farrera, I., Thorin, C., L'Hostis, M., Viguès, B., Bastian, S., 2014a. Correlating the pollens gathered by *Apis mellifera* with the landscape features in Western France. *Applied Ecology and Environmental Research* 12, 423-439.
- Piroux, M., Lambert, O., Thorin, C., Farrera, I., L'Hostis, M., Viguès, B., 2013b. *Ressources pollinifères de l'Abeille domestique, Apis mellifera, en paysage rural du nord-ouest de la France*. In : Jean-Marie Barbançon, Monique L'Hostis, Dorothée Ordonneau (Eds), Journée Scientifique Apicole, Aix-les-Bains, 11 octobre 2013, 100p.
- Piroux, M., L'Hostis, M., Lambert, O., Viguès, B., 2012. *Etude dynamique cas/témoin du développement d'abeilles (Apis mellifera) sur deux ruchers en Pays de la Loire: suivi écotoxicologique, écopathologique et évaluations des stratégies de butinage*. In : Jean-

- Marie Barbançon, Monique L'Hostis (Eds), Journée Scientifique Apicole, Nantes, 11 février 2012, 100p.
- Piroux, M., Thorin, C., Farrera, I., L'Hostis, M., Viguès, B., Lambert, O., 2014b. A comparison between plant community composition and botanical species gathered by honey bees in cultivated landscape of Western France. *International Journal of Current Research* 6, 6699-6709.
- Plantureux, S., Peeters, A., Mccracken, D., 2005. Biodiversity in intensive grasslands: effects of management, improvement and challenges. *Agronomy Research* 3, 153-164.
- Pointereau, P., 2001. Légumineuses quelles enjeux écologiques ? *Courrier de l'environnement de l'INRA* 44, 69-72.
- Porrini, C., Sabatini, A.G., Girotti, S., Ghini, S., Medrzycki, P., Grillenzoni, F., Bortolotti, L., Gattavecchia, E., Celli, G., 2003. Honey bees and bee products as monitors of the environmental contamination. *Apiacta* 38, 63-70.
- Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 345-353.
- Pywell, R.F., Bullock, J.M., Tallowin, J.B., Walker, K.J., Warman, E.A., Masters, G., 2007. Enhancing diversity of species-poor grasslands: an experimental assessment of multiple constraints. *Journal of Applied Ecology* 44, 81-94.
- R**einhard, J., 2004. Floral scents induce recall of navigational and visual memories in honeybees. *Journal of Experimental Biology* 207, 4371-4381.
- Requier, F., Odoux, JF., Tamic, T., Feuillet, D., Henry, M., Aupinel, P., Decourtye, A., Bretagnolle, V., 2012. *Dynamique temporelle de la sélection alimentaire chez l'abeille domestique (Apis mellifera L.) en paysage agricole*, In : Actes du colloque « Abeilles et systèmes agricoles de grandes cultures : Polinov étudie les interactions pour concevoir des systèmes de cultures innovants », Poitiers, 29 novembre 2012, 36p.
- Riessberger, U., Crailsheim, K., 1997. Short-term effect of different weather conditions upon the behaviour of forager and nurse honey bees (*Apis mellifera carnica* Pollmann). *Apidologie* 28, 411-426.

- Robinson, R.A., Sutherland, W.J., 2002. Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 39, 157-176.
- Rubinstein, C.V., Gerrienne, P., de la Puente, G.S., Astini, R.A., Steemans, P., 2010. Early Middle Ordovician evidence for land plants in Argentina (eastern Gondwana): rapid report. *New Phytologist* 188, 365-369.
- R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.)
- Sabatini, A.G., 2005. L'Abeille bio-indicateur, l'abeille sentinelle de l'environnement. *Abeille & Compagnie*, 108, 12-16.
- Sabugosa-Madeira, B., Ribeiro, H., Cunha, M., Abreu, I., 2008. Anemophilous and entomophilous pollen flows of *Castanea sativa* in the Northeast of Portugal. *Acta Horticulturae*, 784: 133-136.
- Schippers, P., Joenje, W., 2002. Modelling the effect of fertiliser, mowing, disturbance and width on the biodiversity of plant communities of field boundaries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93, 351-365.
- Schmickl, T., Crailsheim, K., 2004. Inner nest homeostasis in a changing environment with special emphasis on honey bee brood nursing and pollen supply. *Apidologie* 35, 249-263.
- Schmidt, J.O., 1982. Pollen foraging preferences of honey bees. *The southwestern entomologist* 7, 255-259.
- Seeley, T., Camazine, S., Sneyd, J., 1991. Collective decision-making in honey bees: how colonies choose among nectar sources. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 28.
- Seeley, T.D., 1992. The tremble dance of the honey bee: message and meanings. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 31, 375-383.
- Severson, D.W., Parry, J.E., 1981. A chronology of pollen collection by honeybees. *Journal of Apicultural Research* 20, 97-103.
- Somerville, D.C., 2001. *Nutritional value of bee collected pollens*. Rural Industries Research & development corporation, NSW Agriculture, 166p.

- Starr, C.K., 1998. *Systematics and comparative biology of the honeybees*. Proceedings of the First Caribbean Beekeeping Congress, Tobago 1998, 72-92.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., Tscharntke, T., 2002. Scale-dependant effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83, 1421-1432.
- Steffan-Dewenter, I., Kuhn, A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270, 569-575.
- Strijker, D., 2005. Marginal lands in Europe—causes of decline. *Basic and Applied Ecology* 6, 99-106.
- Sundriyal, M., Sundriyal, R.C., 2001. Wild edible plants of the Sikkim Himalaya: nutritive values of selected species. *Economic Botany* 55, 377-390.
- Suryanarayana, M.C., Mohana Rao, G., Singh, T., 1992. Studies on pollen sources for *Apis cerana* Fabr and *Apis mellifera* L bees at Muzaffarpur, Bihar, India. *Apidologie* 23, 33-46.
- Szczęsna, T., 2006. Protein content and amino acid composition of bee-collected pollen from selected botanical origins. *Journal of Apicultural Science* 50, 81-90.
- T**an, K., Latty, T., Hu, Z., Wang, Z., Yang, S., Chen, W., Oldroyd, B.P., 2014. Preferences and tradeoffs in nectar temperature and nectar concentration in the Asian hive bee *Apis cerana*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 68, 13-20.
- Telleria, M.C., 1993. Floraison et récolte du pollen par les abeilles domestiques (*Apis mellifera* L var *ligustica*) dans la pampa argentine. *Apidologie* 24, 109-120.
- Thies, C., Tscharntke, T., 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285, 893-895.
- Thompson, K., Anstin, K.C., Smith, R.M., Warren, P.H., Angold, P.G., Gaston, K.S., 2003. Urban domestic gardens (I): putting small-scale plant diversity in context. *Journal of Vegetation Science* 14, 71-78.
- Thompson, H., Wilkins, S., 2003. Assessment of the synergy and repellency of pyrethroid/fungicide mixtures. *Bulletin of Insectology* 56, 131-134.

- Truax, A., Cushman, L., Petkash, P., 2006. How soil composition relates to plant growth and diversity. *Journal of Ecological Research* 8, 54-58.
- Tscharntke, T., Batáry, P., Dormann, C.F., 2011. Set-aside management: how do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 143, 37-44.
- Tuzen, M., Silici, S., Mendil, D., Soylak, M., 2007. Trace element levels in honeys from different regions of Turkey. *Food Chemistry* 103, 325-330.
- Vandame, R., Belzunces, L.P., 1998. Joint actions of deltamethrin and azole fungicides on honey bee thermoregulation. *Neuroscience Letters* 251, 57-60.
- van der Steen, J.J.M., de Kracker, J., Grotenhuis, T., 2011. Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Monitoring and Assessment* 184, 4119-4126.
- vanEngelsdorp, D., Evans, J.D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B.K., Frazier, M., Frazier, J., Cox-Foster, D., Chen, Y., Underwood, R., Tarpy, D.R., Pettis, J.S., 2009. Colony Collapse Disorder: a descriptive study. *PLoS ONE* 4, e6481.
- vanEngelsdorp, D., Meixner, M.D., 2010. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology* 103, S80-S95.
- Vereecken, N.J., Atlas Hymenoptera [en ligne]. Disponible sur : <http://zoologie.umb.ac.be/hymenoptera> [consulté le 26 juin 2010].
- Veza, M., Nepi, M., Guarnieri, M., Artese, D., Rascio, N., Pacini, E. 2006. Ivy (*Hedera helix* L.) flower nectar and nectary ecophysiology. *International Journal of Plant Sciences* 167, 519-527.
- Vidau, C., Brunet, J.L., Badiou, A., Belzunces, L.P., 2009. Phenylpyrazole insecticides induce cytotoxicity by altering mechanisms involved in cellular energy supply in the human epithelial cell model Caco-2. *Toxicology In Vitro* 23, 589-597.
- Vidau, C., Diogon, M., Aufauvre, J., Fontbonne, R., Viguès, B., Brunet, J.L., Texier, C., Biron, D.G., Blot, N., El Alaoui, H., Belzunces, L.P., Delbac, F., 2011. Exposure to

- sublethal doses of fipronil and thiacloprid highly increases mortality of honeybees previously infected by *Nosema ceranae*. *PLoS ONE* 6, e21550.
- Villanueva-Gutierrez, R., 2002. Polliniferous plants and foraging strategies of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 50.
- Villanueva, G.R., Roubik, D.W., 2004. Why are African honey bees and not European bees invasive? Pollen diet diversity in community experiments. *Apidologie* 35, 481-491.
- Visscher, P.K., Crailsheim, K., Sherman, G., 1996. How do honey bees (*Apis mellifera*) fuel their water foraging flights? *Journal of Insect Physiology* 42, 1089-1094.
- von der Ohe, W., Persano Oddo, L., Piana, M.L., Morlot, M., Martin, P., 2004. Harmonized methods of melissopalynology. *Apidologie* 35, S18-S25.
- von Frisch, K., 1965. *The dance language and orientation of bees*. Belknap Press (Harvard University Press), Cambridge, 566p.
- Waddington, K.D., Herbert, T.J., Visscher, P.K., Richter, M.R., 1994. Comparisons of forager distributions from matched honey bee colonies in suburban environments. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 35, 423-429.
- Waddington, K.D., Nelson, C.M., Page, R.E., 1998. Effects of pollen quality and genotype on the dance of foraging honey bees. *Animal Behaviour* 56, 35-39.
- Warakomska, Z., Louveaux, J., 1964. Recherches sur les variations du comportement de butinage chez des colonies d'abeilles de races différentes. *Annales de l'Abeille* 7, 217-231.
- Weidenmüller, A., Tautz, J., 2002. In-hive behavior of pollen foragers (*Apis mellifera*) in honey bee colonies under conditions of high and low pollen need. *Ethology* 108, 205-221.
- Whitehorn, P.R., O'Connor, S., Wackers, F.L., Goulson, D., 2012. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. *Science* 336, 351-352.
- Wu, J.Y., Smart, M.D., Anelli, C.M., Sheppard, W.S., 2012. Honey bees (*Apis mellifera*) reared in brood combs containing high levels of pesticide residues exhibit increased

susceptibility to *Nosema* (Microsporidia) infection. *Journal of Invertebrate Pathology* 109, 326-329.

Yarsan, E., Karacal, F., Ibrahim, I.G., Dikmen, B., Koksall, A., Das, Y.K., 2007. Contents of some metals in honeys from different regions in Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 79, 255-258.



Annexe 1. Type biologique selon le système de Raunkiær _____	265
Annexe 2. Protocole d'analyse des pollens du laboratoire de palynologie de Montpellier SupAgro _____	266
Annexe 3. Tableaux détaillés d'occupation du sol des aires de butinage des ruchers ML et V en 2011 et 2012 _____	267
Annexe 4. Liste des espèces végétales identifiées sur le terrain : nom latin (famille) et nom vernaculaire _____	271
Annexe 5. Résultats des tests de Wilcoxon réalisés pour chaque taxon pollinique sur l'ensemble des paires d'échantillons (pelotes de pollen de plancher et pelotes de pollen de trappe de la même colonie à un même temps T) _____	274
Annexe 6. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les échantillons de pelotes de pollen à l'échelle de la famille (les échantillons sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie) : A = Carte factorielle (en violet, les échantillons et en orange, les familles polliniques), B = Carte factorielle après une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC) _____	275
Annexe 7. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s) et équitabilité (E) des échantillons de pelotes de pollen au cours de la saison apicole 2011 et 2012 pour les différentes colonies du rucher ML _____	276
Annexe 8. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s) et équitabilité (E) des échantillons de pelotes de pollen au cours de la saison apicole 2011 et 2012 pour les différentes colonies du rucher V _____	277
Annexe 9. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les échantillons de pelotes de pollen (les échantillons sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie ; en vert, les échantillons et en rose, les taxons polliniques) _____	278
Annexe 10. Profils palynologiques des différentes colonies du rucher ML, en 2011 et 2012 (seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques ; les espèces présentes à moins de 5 % figurent dans un tableau à suivre) _____	279
Annexe 11. Profils palynologiques des différentes colonies du rucher V, en 2011 et 2012 (seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques ; les espèces présentes à moins de 5 % figurent dans un tableau à suivre) _____	286
Annexe 12. Dendrogrammes construits sur la base des indices de similarités Bray-Curtis, eux-mêmes calculés à partir des données palynologiques des échantillons de miel des colonies étudiées sur l'ensemble des ruchers, en 2011 et 2012. A = Réalisé sur la base des familles polliniques, B = Réalisé sur la base des taxons polliniques _____	293
Annexe 13. Pollens présents à moins de 5 % sur l'ensemble des échantillons de miel d'une même colonie sur une même année _____	294
Annexe 14. Analyse Factorielle Multiple basée sur les données floristiques et palynologiques à l'échelle de la famille. A = Carré de liaison des groupes de l'AFM et B = Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie) _____	295

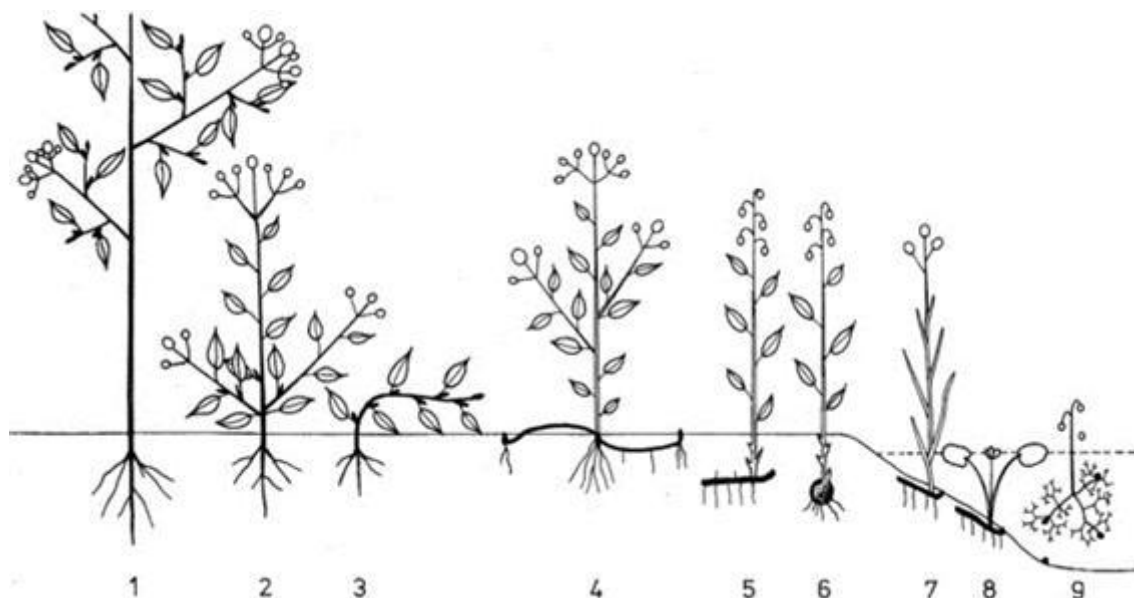
Annexe 15. Analyse Factorielle Multiple basée sur les espèces floristiques et les taxons polliniques. A = Carré de liaison des groupes de l'AFM et B = Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM et classification des individus (HPCP) (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie) ____ 296

Annexe 16. Evolution de la surface de couvain et de la quantité de réserve en pollen au sein des colonies du rucher ML et du rucher V durant les saisons apicoles 2011 et 2012 (le même code couleur est utilisé pour tous les graphiques : les losanges de couleur violet correspondent aux surfaces de couvain, ceux de couleur orange correspondent aux réserves en pollen ; en gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données) _____ 297

Annexe 17. Quantité de protéines présentes dans différentes espèces de pollen (a = Hügel, 1962 ; b = De Simone *et al.*, 1980 ; c = Pernal & Currie, 2000 ; d = Bruneau, 2006 ; e = Szczesna *et al.*, 2006 ; f = Ozler *et al.*, 2009 ; g = Santos *et al.*, 2009 ; h = Sommerville, 2011 ; i = Alaux *et al.*, 2012 ; j = Di Pasquale *et al.*, 2013) _____ 303

Annexe 18. Quantité de différents acides aminés présents dans différentes espèces de pollen (a = De Simone *et al.*, 1980 en $\mu\text{mol/g}$ de pollen sec ; b = Szczesna *et al.*, 2006 en mg/g de pollen sec ; c = Ozler *et al.*, 2009 en mg/100g de pollen ; d = Sommerville, 2011 en %) _____ 304

Annexe 1. Type biologique selon le système de Raunkiaer



1 – Phanérophyte : bourgeons dormants aériens à plus de 50 cm de la surface du sol.

2, 3 – Chamaephyte : bourgeons dormants aériens à moins de 50 cm de la surface du sol. On distingue les chamaephytes frutescents (buissonnants, plus ou moins dressés) et les chamaephytes herbacés (beaucoup plus proches du sol).

4 – Hémicryptophyte : bourgeons dormants à la surface du sol.

5, 6 – Géophyte : bourgeons dormants sous la surface du sol.

7 – Hélophyte : bourgeons dormants sous l'eau, feuilles émergées au moins en partie.

8, 9 – Hydrophyte : bourgeons dormants sous l'eau, feuilles immergées.

Thérophyte (non illustré) : passage de la mauvaise saison sous forme de graines.

Annexe 2. Protocole d'analyse des pollens du laboratoire de palynologie de Montpellier SupAgro

Les traitements et les montages sont réalisés dans un laboratoire à atmosphère filtrée à 2µm selon les bonnes pratiques de laboratoires en vigueur.

Traitement chimique

Ce traitement chimique permet d'une part de vider les grains de pollen de leur contenu cytoplasmique, d'autre part, d'éliminer les particules autres que les pollens présents dans les échantillons, et ainsi d'améliorer notablement l'observation et l'identification des grains de pollen.

- Déshydratation des échantillons
- Mise en traitement de 1g
- Hydratation (eau tritonée à 2 %) durant 1 heure avec agitation
- Déshydratation du culot à l'acide acétique (CH_3COOH)
- Acétolyse (Erdtman, 1960) pendant 3 minutes au bain-marie bouillant : mélange d'anhydride acétique ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$) et d'acide sulfurique (H_2SO_4) à raison de 9 pour 1
- Potasse (KOH 10 %) au bain marie tiède pendant 10 minutes
- Eau glycinée colorée à la fushine basique
- Séchage

Entre chaque étape, un rinçage à l'eau distillée est réalisé, après concentration des particules par centrifugation.

Mesure volumétrique

- Ajout d'une quantité connue de glycérine 80 %
- Mesure du culot sec
- Dilution du culot sec avec de la glycérine 80 %
- Conditionnement en pilulier.

Montage et analyse

- Réalisation de cales sur une lamelle
- Montage de 50µl de culot entre lame et lamelle
- Analyse qualitative et quantitative d'un échantillon représentatif du culot en microscopie photonique (x 630).
- Estimation, pour chaque taxon trouvé et nommé en latin, du pourcentage et du nombre de grains de pollen par gramme.

Annexe 3. Tableaux détaillés d'occupation du sol des aires de butinage des ruchers ML et V en 2011 et 2012

Occupation du sol ML 2011	18/03	04/04	28/04	16/05	25/05	16/06	30/06	19/07	01/08	16/08	30/08	14/09	29/09
Avoine (ha)	0,00	0,00	0,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé (ha)	0,00	0,00	30,90	49,20	49,20	49,20	49,20	49,20	49,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé barbu (ha)	0,00	0,00	20,04	32,94	34,27	34,27	34,27	31,01	31,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Bois (ha)	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05
Boqueteau (ha)	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80
Bosquet (ha)	3,24	3,24	3,24	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,24
Brassicaceae (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,86	0,00
Champ post-moisson (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,74	0,00	0,00	0,00	3,26	3,26	7,63	0,00
Colza (ha)	23,52	25,10	25,10	25,10	23,74	0,00	23,74	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	23,52
Couvert végétal (ha)	3,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,76	3,64
Culture (ha)	0,00	0,00	3,17	0,00	0,00	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Friche (ha)	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	0,00	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
Luzerne (ha)	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41
Maïs (ha)	0,00	0,00	12,33	122,98	126,68	126,68	126,68	126,68	126,68	126,68	126,68	101,28	0,00
Maraîchage (ha)	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09
Non renseigné (ha)	50,64	51,71	59,03	71,80	73,16	73,71	73,71	98,98	98,98	175,27	183,70	147,54	50,64
Œillet porte-graine (ha)	0,00	0,00	0,00	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04	0,00
Pelouse (ha)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Phacélie (ha)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55
Poaceae (ha)	68,02	62,78	21,44	1,98	1,98	1,98	1,98	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	68,02
Prairie (ha)	82,68	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	83,56	82,68
Prairie et arbres (ha)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Prairie et cerisiers (ha)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Prairie et fruitiers (ha)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Prairie et noyers (ha)	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
Semis (ha)	40,47	57,92	140,10	12,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,47
Sol nu (ha)	142,72	130,08	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25	4,62	1,67	29,29	142,72
Sorgho (ha)	0,00	0,00	5,07	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	0,00	0,00	0,00
Tournesol (ha)	0,00	0,00	0,00	5,07	12,13	12,13	12,13	12,13	12,13	12,13	7,06	7,06	0,00
Verger de cerisiers (ha)	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Verger de pommiers (ha)	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93	24,93
Verger de pommiers et cerisiers (ha)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Zone urbanisée (ha)	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42
Bords de route et fossés (m)	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69
Haies (m)	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00

Occupation du sol ML 2012	29/02	03/04	19/04	03/05	14/05	30/05	18/06	28/06	16/07	31/07	16/08	30/08	18/09	27/09	30/10
Avoine (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé (ha)	0,00	0,00	0,00	76,44	98,12	98,12	98,12	98,12	98,12	98,12	98,12	0,53	0,00	0,00	0,00
Blé barbu (ha)	0,00	0,00	0,00	23,77	37,44	37,44	37,44	37,44	37,44	37,44	37,44	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé et seigle (ha)	0,00	0,00	0,00	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Bois (ha)	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05	18,05
Boqueteau (ha)	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80
Bosquet (ha)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,40	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
Brassicaceae (ha)	24,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,89	3,26	0,00
Champ post-moisson (ha)	6,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	105,08	103,63	92,70	107,25
Colza (ha)	0,00	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	24,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Couvert végétal (ha)	81,70	74,73	40,98	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,53	31,13
Engrais vert (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,85	16,89
Friche (ha)	4,22	4,22	4,84	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22	2,73
Luzerne (ha)	11,30	11,30	11,30	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85	11,85
Maïs (ha)	0,00	0,00	0,00	98,58	107,65	107,65	108,27	108,27	108,27	108,27	108,27	106,68	98,26	73,94	28,20
Maraîchage (ha)	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09	14,09
Non renseigné (ha)	140,38	218,62	39,31	45,94	45,94	36,00	32,59	32,59	32,59	56,79	57,00	95,48	86,02	126,67	42,98
Pelouse (ha)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Poaceae (ha)	0,00	0,00	0,00	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Pommes de terre (ha)	0,00	0,00	0,00	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Prairie (ha)	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	85,33	84,61
Prairie et arbres (ha)	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Prairie et cerisiers (ha)	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Prairie et fruitiers (ha)	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Prairie et noyers (ha)	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
Prairie et potager (ha)	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Semis (ha)	0,00	1,06	211,66	42,01	0,00	9,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56
Sol nu (ha)	65,80	0,00	1,84	1,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,97	5,11	90,54
Tournesol (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,73	12,73	12,73	12,73	12,73	10,29	10,29	0,00	0,00
Verger de cerisiers (ha)	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Verger de pommiers (ha)	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50	27,50
Verger de pommiers et cerisiers (ha)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Zone urbanisée (ha)	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42	147,42
Bords de route et fossés (m)	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69	22656,69
Haies (m)	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00	9521,00

Occupation du sol V 2011	17/03	04/04	29/04	12/05	17/05	31/05	01/07	18/07	02/08	17/08	31/08	16/09	30/09	01/12
Bassin de rétention (ha)	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
Blé (ha)	0,00	0,00	66,01	73,10	73,10	73,10	73,10	62,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé barbu (ha)	0,00	0,00	42,66	42,66	42,66	42,66	42,66	42,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Blé et avoine (ha)	0,00	0,00	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06	10,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bois (ha)	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17
Boqueteau (ha)	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40
Bord étang (ha)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Bosquet (ha)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
Champ post-moisson (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,22	11,43	13,30	20,31	0,00
Couvert végétal (ha)	108,52	94,24	4,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09	77,86	81,07	104,38	0,00
Culture (ha)	0,00	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Emplacement du rucher (ha)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Engrais vert - Phacélie (ha)	5,27	5,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etang (ha)	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40
Friche (ha)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Haricots (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	0,00	0,00	0,00
Luzerne (ha)	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	12,62	17,17	17,17	17,17
Maïs (ha)	0,00	0,00	23,10	83,77	150,40	150,40	150,40	150,40	135,87	127,85	124,44	102,03	102,03	0,00
Moutarde (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,25	21,25
Non renseigné (ha)	84,71	58,23	73,81	79,26	72,90	71,77	80,78	95,23	230,80	227,55	93,89	118,49	89,68	354,93
Orge (ha)	0,00	0,00	7,29	7,29	7,29	7,29	7,29	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poaceae (ha)	177,33	182,47	16,90	4,61	9,75	10,88	1,87	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	10,85	0,00
Pois et fêveroles (ha)	0,00	0,00	0,00	0,51	0,51	0,51	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Potager (ha)	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
Prairie (ha)	151,06	151,06	151,06	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39
Prairie et arbres (ha)	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
Prairie et vigne (ha)	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Prairie, pommiers et poiriers (ha)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Ray-grass (ha)	3,90	3,90	3,90	3,90	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	3,90	3,90	3,90
Semis (ha)	1,68	1,68	52,35	69,84	3,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,05	10,58	5,62	0,00
Sol nu (ha)	0,00	32,44	77,26	5,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,96	51,00	50,71	22,06	0,00
Tournesol (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	3,21	0,00	0,00	0,00
Zone urbanisée (ha)	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11
Bords de route et fossés (m)	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05
Haies (m)	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86

Occupation du sol V 2012	29/02	02/04	13/04	30/04	16/05	31/05	15/06	29/06	17/07	31/07	17/08	31/08	17/09	28/09	31/10
Bassin de rétention (ha)	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62	5,62
Blé (ha)	0,00	0,00	0,00	8,47	118,46	119,91	119,91	119,91	119,91	119,91	119,91	0,00	0,00	0,00	0,00
Bois (ha)	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17	23,17
Boqueteau (ha)	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40	17,40
Bord étang (ha)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Bosquet (ha)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
Brassicaceae (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	1,87
Champ post-moisson (ha)	8,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41	1,36	29,38
Couvert végétal (ha)	170,55	179,82	167,07	10,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87	48,40	146,47
Emplacement du rucher (ha)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Etang (ha)	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40	19,40
Friche (ha)	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Haricots (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	0,00	0,00	0,00
Luzerne (ha)	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17	17,17
Maïs (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	7,84	97,82	160,80	163,14	163,14	163,14	163,14	163,14	155,30	141,32	106,38
Non renseigné (ha)	122,67	46,61	93,48	206,53	118,91	58,43	52,04	52,04	52,04	68,09	68,09	199,79	205,02	171,41	44,04
Pois (ha)	0,00	0,00	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	0,00	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00
Potager (ha)	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	152,39	0,81	0,81
Prairie (ha)	154,42	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	152,39	2,38	152,39	152,39
Prairie et arbres (ha)	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,39	2,38	2,38
Prairie et vigne (ha)	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	0,14	2,39	2,39
Prairie, pommiers et poiriers (ha)	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	14,48	0,14	0,14
Ray-grass (ha)	6,43	6,43	6,43	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	14,48	0,00	14,48	14,48
Seigle (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	8,38	8,38	8,38	8,38	8,38	8,38	8,38	0,00	0,00	0,00	0,00
Semis (ha)	0,00	16,05	0,00	123,03	94,84	55,39	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sol nu (ha)	69,44	131,17	97,05	1,12	1,12	6,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	37,46
Tournesol (ha)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00
Zone urbanisée (ha)	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11	56,11
Bords de route et fossés (m)	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05	22960,05
Haies (m)	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86	21961,86

Annexe 4. Liste des espèces végétales identifiées sur le terrain : nom latin (famille) et nom vernaculaire

<i>Abies</i> sp. (Pinaceae) : sapin	<i>Cercis siliquastrum</i> (Fabaceae) : Arbre de Judée
<i>Acer campestre</i> (Sapindaceae) : Erable champêtre	<i>Chelidonium majus</i> (Papaveraceae) : Grande chélidoine
<i>Acer platanoides</i> (Sapindaceae) : Erable plane	<i>Chenopodium album</i> (Amaranthaceae) : Chénopode blanc
<i>Acer pseudoplatanus</i> (Sapindaceae) : Erable sycomore	<i>Choisya ternata</i> (Rutaceae) : Oranger du Mexique
<i>Acer</i> sp. (Sapindaceae) : érable	<i>Cichorium intybus</i> (Asteraceae liguliflore) : Chicorée sauvage
<i>Achillea millefolium</i> (Asteraceae liguliflore) : Achillée millefeuille	<i>Circaea lutetiana</i> (Onagraceae) : Circée de Paris
<i>Aesculus hippocastanum</i> (Sapindaceae) : Marronnier commun	<i>Cirsium arvense</i> (Asteraceae tubuliflore) : Cirse des champs
<i>Aesculus carnea</i> (Sapindaceae) : Marronnier à fleurs roses	<i>Cirsium</i> sp. (Asteraceae tubuliflore) : cirse
<i>Aesculus</i> sp. (Sapindaceae) : marronnier	<i>Cirsium vulgare</i> (Asteraceae tubuliflore) : Cirse commun
<i>Agrimonia eupatoria</i> (Rosaceae) : Aigremoine eupatoire	<i>Clematis vitalba</i> (Ranunculaceae) : Clématite des haies
<i>Ajuga reptans</i> (Lamiaceae) : Bugle rampante	<i>Clinipodium vulgare</i> (Lamiaceae) : Calament clinopode
<i>Alcea rosea</i> (Malvaceae) : Rose trémière	<i>Conopodium majus</i> (Apiaceae) : Conopode dénudé
<i>Alisma plantago aquatica</i> (Alismataceae) : Plantain d'eau	<i>Convolvulus arvensis</i> (Convolvulaceae) : Liseron des champs
<i>Alliaria petiolata</i> (Brassicaceae) : Alliaire officinale	<i>Convolvulus</i> sp. (Convolvulaceae) : liseron
<i>Alnus cordata</i> (Betulaceae) : Aulne cordé	<i>Cornus sanguinea</i> (Cornaceae) : Cornouiller sanguin
<i>Alnus glutinosa</i> (Betulaceae) : Aulne glutineux	<i>Coronopus</i> sp. (Brassicaceae) : corne de cerf
<i>Alnus</i> sp. (Betulaceae) : aulne	<i>Corylus avellana</i> (Betulaceae) : Noisetier commun
<i>Alopecurus pratensis</i> (Poaceae) : Vulpin des prés	<i>Cotoneaster franchetii</i> (Rosaceae) : Cotonéaster de Franchet
<i>Alstroemeria</i> sp. (Alstroemeriaceae) : alstroémère	<i>Cotoneaster horizontalis</i> (Rosaceae) : Cotonéaster horizontal
<i>Amaranthus bouchonii</i> (Amaranthaceae) : Amaranthe de Bouchon	<i>Cotoneaster lacteus</i> (Rosaceae) : Cotonéaster laiteux
<i>Anagallis arvensis</i> (Primulaceae) : Mouron des champs	<i>Cotoneaster</i> sp. (Rosaceae) : cotonéaster
<i>Anthoxanthum odoratum</i> (Poaceae) : Flouve odorante	<i>Crataegus monogyna</i> (Rosaceae) : Aubépine monogyne
<i>Anthriscus sylvestris</i> (Apiaceae) : Cerfeuil sauvage	<i>Crepis biennis</i> (Asteraceae liguliflore) : Crépide bisannuelle
<i>Arabidopsis thaliana</i> (Brassicaceae) : Arabette des dames	<i>Crepis capillaris</i> (Asteraceae liguliflore) : Crépide capillaire
<i>Arabis caucasica</i> (Brassicaceae) : Arabette du caucase	<i>Crepis vesicaria taraxifolia</i> (Asteraceae liguliflore) : Crépide à feuilles de pissenlit
<i>Arbutus unedo</i> (Ericaceae) : Arbousier commun	<i>Cyanus segetum</i> (Asteraceae tubuliflore) : Centaurée bleuet
<i>Arctium lappa</i> (Asteraceae tubuliflore) : Bardane commune	<i>Cydonia japonica</i> (Rosaceae) : Cognassier du Japon
<i>Arrhenatherum elatius</i> (Poaceae) : Avoine élevée	<i>Cymbalaria muralis</i> (Plantaginaceae) : Cymbalaire des murs
<i>Artemisia vulgaris</i> (Asteraceae tubuliflore) : Armoise commune	<i>Dactylis glomerata</i> (Poaceae) : Dactyle aggloméré
<i>Arum italicum</i> (Araceae) : Arum d'Italie	<i>Daucus carota</i> (Apiaceae) : Carotte sauvage
<i>Arum</i> sp. (Araceae) : arum	<i>Deutzia scabra</i> (Hydrangeaceae) : Deutzie rude
<i>Avena barbata</i> (Poaceae) : Avoine barbue	<i>Dianthus</i> sp. (Caryophyllaceae) : oeillet
<i>Avena sativa</i> (Poaceae) : Avoine cultivée	<i>Dicentra spectabilis</i> (Fumariaceae) : Cœur de Marie
<i>Bellis perennis</i> (Asteraceae radiée) : Pâquerette vivace	<i>Digitalis purpurea</i> (Plantaginaceae) : Digitale pourpre
<i>Berberis darwinii</i> (Berberidaceae) : Epine-vinette de Darwin	<i>Dioscorea communis</i> (Dioscoreaceae) : Tamier commun
<i>Bergenia cordifolia</i> (Saxifragaceae) : Bergenia cordée	<i>Dipsacus fullonum</i> (Caprifoliaceae) : Cardère sauvage
<i>Betula pendula</i> (Betulaceae) : Bouleau verruqueux	<i>Dryopteris filix-mas</i> (Dryopteridaceae) : Fougère mâle
<i>Brachypodium pinnatum</i> (Poaceae) : Brachypode penné	<i>Echium</i> sp. (Boraginaceae) : vipérine
<i>Brassica napus</i> (Brassicaceae) : Colza d'hiver	<i>Elaeagnus</i> sp. (Elaeagnaceae) : chalef
<i>Bromus hordeaceus</i> (Poaceae) : Brome mou	<i>Elaeagnus*ebbingei</i> (Elaeagnaceae) : Chalef de Ebbing
<i>Bromus rigidus</i> (Poaceae) : Brome raide	<i>Elytrigia repens</i> (Poaceae) : Chiendent officinal
<i>Bromus</i> sp. (Poaceae) : brome	<i>Epilobium hirsutum</i> (Onagraceae) : Epilobe à grande fleurs
<i>Bromus sterilis</i> (Poaceae) : Brome stérile	<i>Erica</i> sp. (Ericaceae) : bruyère
<i>Bryonia dioica</i> (Cucurbitaceae) : Bryone dioïque	<i>Eryngium campestre</i> (Apiaceae) : Panicaud champêtre
<i>Buddleja davidii</i> (Scrophulariaceae) : Buddleia de David	<i>Escallonia</i> sp. (Escalloniaceae) : escallonia
<i>Callistemon citrinus</i> (Myrtaceae) : Rince-bouteille	<i>Escholtzia californica</i> (Papaveraceae) : Pavot de Californie
<i>Calystegia sepium</i> (Convolvulaceae) : Liseron des haies	<i>Eucalyptus</i> sp. (Myrtaceae) : eucalyptus
<i>Campanula persicifolia</i> subsp. <i>sessiliflora</i> (Campanulaceae) : Campanule à feuilles de pêche	<i>Euonymus europaeus</i> (Celastraceae) : Fusain d'Europe
<i>Campanula rapunculus</i> (Campanulaceae) : Campanule raiponce	<i>Eupatorium cannabinum</i> (Asteraceae liguliflore) : Eupatoire à feuilles de chanvre
<i>Campanula latifolia</i> (Campanulaceae) : Campanule à larges feuilles	<i>Euphorbia palustris</i> (Euphorbiaceae) : Euphorbe des marais
<i>Campsis radicans</i> (Bignoniaceae) : Jasmin de Virginie	<i>Festuca arundinacea</i> (Poaceae) : Fétuque élevée
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (Brassicaceae) : Bourse à pasteur	<i>Festuca pratensis</i> (Poaceae) : Fétuque des prés
<i>Carduus crispus</i> (Asteraceae tubuliflore) : Chardon crépu	<i>Forsythia</i> sp. (Oleaceae) : forsythia
<i>Carduus</i> sp. (Asteraceae tubuliflore) : chardon	<i>Forsythia x intermedia</i> (Oleaceae) : Forsythia de Paris
<i>Carex ovalis</i> (Cyperaceae) : Laïche des lièvres	<i>Fraxinus ornus</i> (Oleaceae) : Frêne à fleurs
<i>Carex pilulifera</i> (Cyperaceae) : Laïche à boulettes	<i>Fraxinus</i> sp. (Oleaceae) : frêne
<i>Carex pseudocyperus</i> (Cyperaceae) : Laïche faux souchet	<i>Fumaria officinalis</i> (Papaveraceae) : Fumeterre officinale
<i>Carex remota</i> (Cyperaceae) : Laïche à épis espacés	<i>Galega officinalis</i> (Fabaceae) : Galega officinal
<i>Carex</i> sp. (Cyperaceae) : laïche	<i>Galium aparine</i> (Rubiaceae) : Gaillet gratteron
<i>Carpinus betulus</i> (Betulaceae) : Charme commun	<i>Galium mollugo</i> (Rubiaceae) : Caille-lait blanc
<i>Carpinus</i> sp. (Betulaceae) : charme	<i>Galium verum</i> (Rubiaceae) : Gaillet jaune
<i>Castanea sativa</i> (Fagaceae) : Châtaignier commun	<i>Gaudinia fragilis</i> (Poaceae) : Gaudinie fragile
<i>Cedrus atlantica</i> (Pinaceae) : Cèdre de l'Atlas	<i>Genista</i> sp. (Fabaceae) : genêt
<i>Cedrus</i> sp. (Pinaceae) : cèdre	<i>Genista tinctoria</i> (Fabaceae) : Genêt des teinturiers
<i>Centaurea jacea</i> (Asteraceae tubuliflore) : Centaurée jacée	<i>Geranium columbinum</i> (Geraniaceae) : Geranium colombine
<i>Centaurea</i> sp. (Asteraceae tubuliflore) : centaurée	<i>Geranium dissectum</i> (Geraniaceae) : Geranium découpé
<i>Cerastium fontanum</i> (Caryophyllaceae) : Céraïste commun	<i>Geranium</i> sp. (Geraniaceae) : geranium
	<i>Geum urbanum</i> (Rosaceae) : Benoîte commune
	<i>Glechoma hederacea</i> (Lamiaceae) : Lierre terrestre

Hebe sp. (Scrophulariaceae) : hébé
Hedera helix (Araliaceae) : Lierre rampant
Helianthus annuus (Asteraceae radiée) : Hélianthe annuel (tournesol)
Heracleum sphondylium (Apiaceae) : Berce commune
Heuchera sanguinea (Saxifragaceae) : Désespoir du peintre
Hibiscus syriacus (Malvaceae) : Hibiscus de Syrie
Holcus lanatus (Poaceae) : Houlque laineuse
Holcus mollis (Poaceae) : Houlque molle
Hordeum murinum (Poaceae) : Orge des rats
Hordeum secalinum (Poaceae) : Orge faux seigle
Hordeum vulgare (Poaceae) : Orge commun
Hyacinthoides non-scripta (Asparagaceae) : Jacinthe des bois
Hypericum "hidcote" (Hypericaceae) : Millepertuis arbustif
Hypericum perforatum (Hypericaceae) : Millepertuis perforé
Hypochaeris radicata (Asteraceae liguliflore) : Porcelle enracinée
Iberis sempervirens (Brassicaceae) : Corbeille d'argent
Ilex aquifolium (Aquifoliaceae) : Houx commun
Iris pseudacorus (Iridaceae) : Iris des marais
Juglans regia (Juglandaceae) : Noyer commun
Juncus effusus (Juncaceae) : Jonc diffus
Juncus sp. (Juncaceae) : jonc
Kerria japonica (Rosaceae) : Corète du Japon
Knautia arvensis (Caprifoliaceae) : Knautie des champs
Lamium sp. (Lamiaceae) : lamier
Lapsana communis (Asteraceae liguliflore) : Lampsane commune
Lathyrus latifolius (Fabaceae) : Gesse à larges feuilles
Lathyrus pratensis (Fabaceae) : Gesse des prés
Laurus nobilis (Lauraceae) : Laurier noble
Lavandula sp. (Lamiaceae) : lavande
Leucanthemum vulgare (Asteraceae radiée) : Marguerite commune
Ligustrum vulgare (Oleaceae) : Troène commun
Linaria sp. (Plantaginaceae) : linnaire
Linaria vulgaris (Plantaginaceae) : Linnaire commune
Linum sp. (Linaceae) : lin
Lolium perenne (Poaceae) : Ray-grass anglais
Lonicera japonica (Caprifoliaceae) : Chèvrefeuille du Japon
Lonicera nitida (Caprifoliaceae) : Chèvrefeuille à feuilles de buis
Lonicera periclymenum (Caprifoliaceae) : Chèvrefeuille des bois
Lotus corniculatus (Fabaceae) : Lotier corniculé
Lotus sp. (Fabaceae) : lotier
Lupinus polyphyllus (Fabaceae) : Lupin des jardins
Lychnis flos-cuculi (Caryophyllaceae) : Silène fleur de coucou
Lycopus europaeus (Lamiaceae) : Lycophe d'Europe
Lysimachia nummularia (Primulaceae) : Herbe aux écus
Lythrum salicaria (Lythraceae) : Salicaire commune
Magnolia sp. (Magnoliaceae) : magnolia
Mahonia sp. (Berberidaceae) : mahonia
Malus pumila (Rosaceae) : Pommier commun
Malus sp. (Rosaceae) : pommier
Malva moschata (Malvaceae) : Mauve musquée
Malva sylvestris (Malvaceae) : Mauve des bois
Matricaria inodora (Asteraceae radiée) : Matricaire inodore
Matricaria sp. (Asteraceae radiée) : matricaire
Medicago lupulina (Fabaceae) : Luzerne lupuline
Medicago sativa (Fabaceae) : Luzerne cultivée
Melissa officinalis (Lamiaceae) : Melisse officinale
Mentha aquatica (Lamiaceae) : Menthe aquatique
Mentha pulegium (Lamiaceae) : Menthe pouliot
Mentha sp. (Lamiaceae) : menthe
Mentha suaveolens (Lamiaceae) : Menthe à feuilles rondes
Mercurialis annua (Euphorbiaceae) : Mercuriale annuelle
Mimosa sp. (Fabaceae) : mimosa
Muscari botryoides (Asparagaceae) : Muscari faux botryde
Muscari comosum (Asparagaceae) : Muscari à toupet
Nepeta mussinii (Lamiaceae) : Menthe aux chats
Nerium oleander (Apocynaceae) : Laurier rose
Oenanthe crocata (Apiaceae) : Oenanthe safranée
Onobrychis sp. (Fabaceae) : sainfoin
Orchis mascula (Orchidaceae) : Orchis mâle
Origanum vulgare (Lamiaceae) : Origan commun
Osmanthus sp. (Oleaceae) : osmanthe
Papaver dubium (Papaveraceae) : Coquelicot douteux
Papaver rhoeas (Papaveraceae) : Pavot coquelicot

Papaver sp. (Papaveraceae) : coquelicot
Parthenocissus sp. (Vitaceae) : vigne vierge
Pastinaca sativa (Apiaceae) : Panais cultivé
Perovskia atriplicifolia (Lamiaceae) : Saugue d'Afghanistan
Phacelia tanacetifolia (Boraginaceae) : Phacélie à feuilles de tanaïsie
Phaseolus sp. (Fabaceae) : haricot
Philadelphus coronarius (Hydrangeaceae) : Seringat des jardins
Philadelphus sp. (Hydrangeaceae) : seringat
Photinia sp. (Rosaceae) : photinia
Picris echinoides (Asteraceae liguliflore) : Picride fausse vipérine
Picris hieracioides (Asteraceae liguliflore) : Picride fausse épervière
Picris sp. (Asteraceae liguliflore) : picride
Pisum sativum (Fabaceae) : Pois cultivé
Plantago lanceolata (Plantaginaceae) : Plantain lancéolé
Plantago major (Plantaginaceae) : Plantain majeur
Plantago sp. (Plantaginaceae) : plantain
Poa annua (Poaceae) : Pâturin annuel
Poa pratensis (Poaceae) : Pâturin des prés
Poa sp. (Poaceae) : Pâturin
Poa trivialis (Poaceae) : Pâturin rude
Polygonatum multiflorum (Asparagaceae) : Sceau-de-Salomon commun
Polygonum aviculare (Polygonaceae) : Renouée des oiseaux
Populus alba (Salicaceae) : Peuplier blanc
Populus nigra (Salicaceae) : Peuplier noir
Populus sp. (Salicaceae) : peuplier
Populus tremula (Salicaceae) : Peuplier tremble
Potentilla montana (Rosaceae) : Potentille brillante
Potentilla reptans (Rosaceae) : Potentille rampante
Potentilla sterilis (Rosaceae) : Potentille stérile
Primula veris (Primulaceae) : Primevère officinale
Primula vulgaris (Primulaceae) : Primevère acaule
Prunella vulgaris (Lamiaceae) : Brunelle commune
Prunus avium (Rosaceae) : Cerisier des oiseaux
Prunus cerasifera (Rosaceae) : Prunier-cerise
Prunus cerasifera pissardi (Rosaceae) : Prunier d'ornement
Prunus domestica (Rosaceae) : Prunier cultivé
Prunus laurocerasus (Rosaceae) : Laurier-cerise
Prunus lusitanica (Rosaceae) : Laurier du Portugal
Prunus serrulata (Rosaceae) : Cerisier du Japon
Prunus sp. (Rosaceae) : prunus
Prunus spinosa (Rosaceae) : Epine noire
Prunus subg. *Cerasus* sp. (Rosaceae) : cerisier
Pseudotsuga menziesii (Pinaceae) : Pin d'Oregon
Pteridium aquilinum (Dennstaedtiaceae) : Fougère-aigle
Pulicaria dysenterica (Asteraceae radiée) : Pulicaire dysentérique
Pyrus communis (Rosaceae) : Poirier commun
Quercus robur (Fagaceae) : Chêne pédonculé
Quercus sp. (Fagaceae) : chêne
Ranunculus acris (Ranunculaceae) : Renoncule âcre
Ranunculus bulbosus (Ranunculaceae) : Renoncule bulbeuse
Ranunculus ficaria (Ranunculaceae) : Ficaire fausse-renoncule
Ranunculus repens (Ranunculaceae) : Renoncule rampante
Ranunculus sardous (Ranunculaceae) : Renoncule de Sardaigne
Ranunculus sp. (Ranunculaceae) : renoncule
Rhus typhina (Anacardiaceae) : Sumac vinaigrier
Ribes sanguineum (Grossulariaceae) : Groseiller sanguin
Robinia hispida (Fabaceae) : Acacia rose
Robinia pseudo-acacia (Fabaceae) : Robinier faux-acacia
Rorippa amphibia (Brassicaceae) : Cresson amphibie
Rosa canina (Rosaceae) : Eglantier des chiens
Rosa sp. (Rosaceae) : rosier
Rubia peregrina (Rubiaceae) : Garance sauvage
Rubus fruticosus (Rosaceae) : Ronce commune
Rubus idaeus (Rosaceae) : Ronce du mont Ida (framboisier)
Rubus sp. (Rosaceae) : ronce
Rumex acetosa (Polygonaceae) : Grande oseille
Rumex acetosella (Polygonaceae) : Petite oseille
Rumex crispus (Polygonaceae) : Oseille crêpue
Rumex sp. (Polygonaceae) : oseille
Ruscus aculeatus (Asparagaceae) : Fragon faux houx
Salix atrocinerea (Salicaceae) : Saule à feuilles d'olivier
Salix babylonica (Salicaceae) : Saule de Babylone
Salix caprea (Salicaceae) : Saule marsault
Salix fragilis (Salicaceae) : Saule fragile

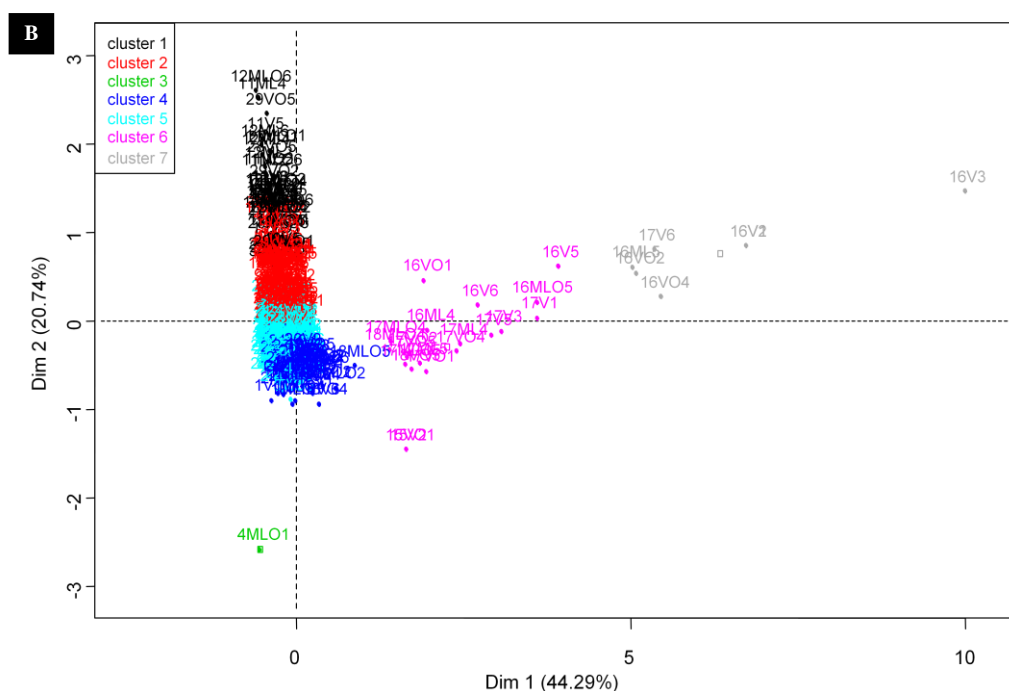
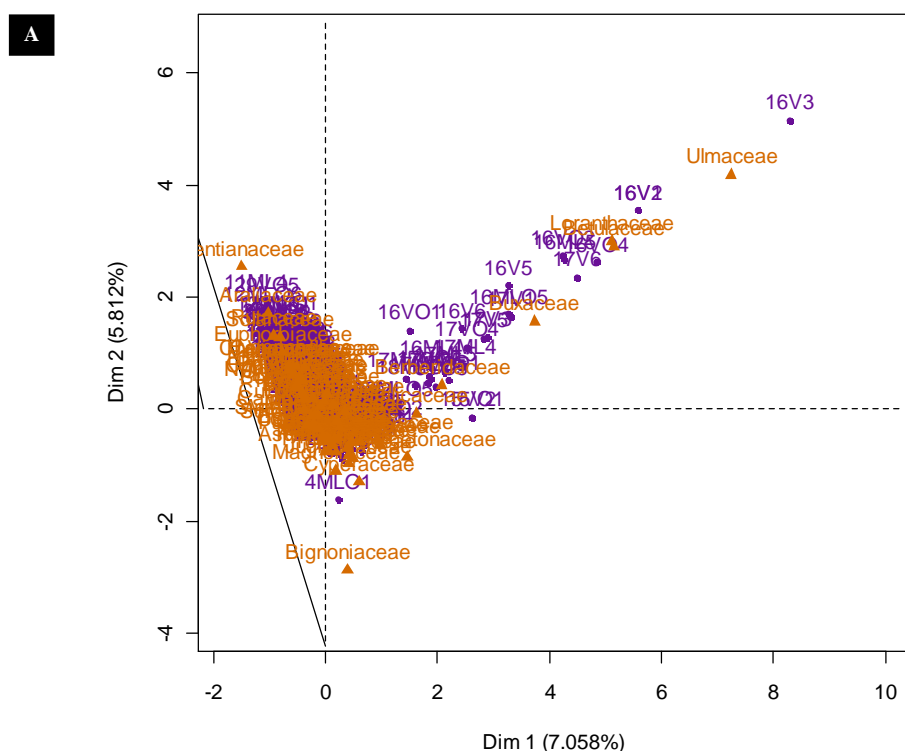
Salix sp. (Salicaceae) : saule
Sambucus ebulus (Adoxaceae) : Sureau hièble
Sambucus nigra (Adoxaceae) : Sureau noir
Secale cereale (Poaceae) : Seigle cultivé
Senecio jacobaea (Asteraceae radiée) : Sénéçon de Jacob
Sequoia sp. (Taxodiaceae) : sequoia
Silene dioica (Caryophyllaceae) : Compagnon rouge
Silene latifolia (Caryophyllaceae) : Compagnon blanc
Silene vulgaris (Caryophyllaceae) : Silene enflé
Sinapis alba (Brassicaceae) : Moutarde blanche
Sinapis arvensis (Brassicaceae) : Moutarde des champs
Sinapis sp. (Brassicaceae) : moutarde
Solanum dulcamara (Solanaceae) : Morelle douce-amère
Solanum tuberosum (Solanaceae) : Pomme de terre
Solidago virgaurea (Asteraceae radiée) : Solidage verge-d'or
Sonchus oleraceus (Asteraceae liguliflore) : Laiteron maraîcher
Sonchus sp. (Asteraceae liguliflore) : laiteron
Sorbus aria (Rosaceae) : Alisier blanc
Sorbus aucuparia (Rosaceae) : Sorbier des oiseaux
Sorbus torminalis (Rosaceae) : Alisier des bois
Sorghum bicolor (Poaceae) : Millet à balai (sorgho)
Sparganium erectum (Sparganiaceae) : Rubanier dressé
Spartium junceum (Fabaceae) : Genêt d'Espagne
Spiraea japonica (Rosaceae) : Spirée du Japon
Spiraea sp. (Rosaceae) : spirée
Stachys officinalis (Lamiaceae) : Bétoine officinale
Stellaria graminea (Caryophyllaceae) : Stellaire à feuilles de graminée
Stellaria holostea (Caryophyllaceae) : Stellaire holostée
Symphytum officinale (Boraginaceae) : Consoude officinale
Syringa vulgaris (Oleaceae) : Lilas commun
Tamarix africana (Tamaricaceae) : Tamaris d'Afrique
Taraxacum sect. *Ruderalia* (Asteraceae liguliflore) : Pissenlit commun
Taxus baccata (Taxaceae) : If commun
Teucrium scorodonia (Lamiaceae) : Germandrée scorodaine
Thalictrum flavum (Ranunculaceae) : Pigamon des rives
Thuja sp. (Cupressaceae) : thuya
Tilia cordata (Malvaceae) : Tilleul à petites feuilles
Tilia platyphyllos (Malvaceae) : Tilleul à grandes feuilles

Tilia sp. (Malvaceae) : tilleul
Tordylium sp. (Apiaceae) : tordyle
Torilis arvensis (Apiaceae) : Torilis des champs
Trachycarpus excelsa (Arecaceae) : Palmier chanvre
Trifolium pratense (Fabaceae) : Trèfle des prés
Trifolium repens (Fabaceae) : Trèfle rampant
Trifolium subterraneum (Fabaceae) : Trèfle enterreur
Triticum sp. (Poaceae) : blé
Ulex europaeus (Fabaceae) : Ajonc d'Europe
Ulmus minor (Ulmaceae) : Orme champêtre
Umbilicus rupestris (Crassulaceae) : Nombriil-de-Vénus commun
Urtica dioica (Urticaceae) : Grande ortie
Valerianella locusta (Valerianaceae) : Mâche potagère
Verbena officinalis (Verbenaceae) : Verveine officinale
Veronica chamaedrys (Plantaginaceae) : Véronique petit-chêne
Viburnum opulus (Adoxaceae) : Boule de neige
Viburnum rhytidophyllum (Adoxaceae) : Viorne à feuilles ridées
Viburnum tinus (Adoxaceae) : Laurier tin
Vicia cracca (Fabaceae) : Vesce de Cracovie
Vicia faba (Fabaceae) : Fève cultivée
Vicia hirsuta (Fabaceae) : Vesce hérissée
Vicia sativa (Fabaceae) : Vesce commune
Vicia sepium (Fabaceae) : Vesce des haies
Vicia sp. (Fabaceae) : vesce
Vinca sp. (Apocynaceae) : pervenche
Viola hirta (Violaceae) : Violette hérissée
Viola sp. (Violaceae) : violette
Viscum album (Loranthaceae) : Gui des feuillus
Vitis sp. (Vitaceae) : vigne
Vitis vinifera (Vitaceae) : Vigne vinifère
Vulpia bromoides (Poaceae) : Vulpie faux brome
Weigela sp. (Caprifoliaceae) : weigélia
Wisteria sinensis (Fabaceae) : Glycine de Chine
Wisteria sp. (Fabaceae) : glycine
Zantedeschia aethiopica (Araceae) : Arum d'Ethiopie
Zea mays (Poaceae) : Blé d'Inde (maïs)

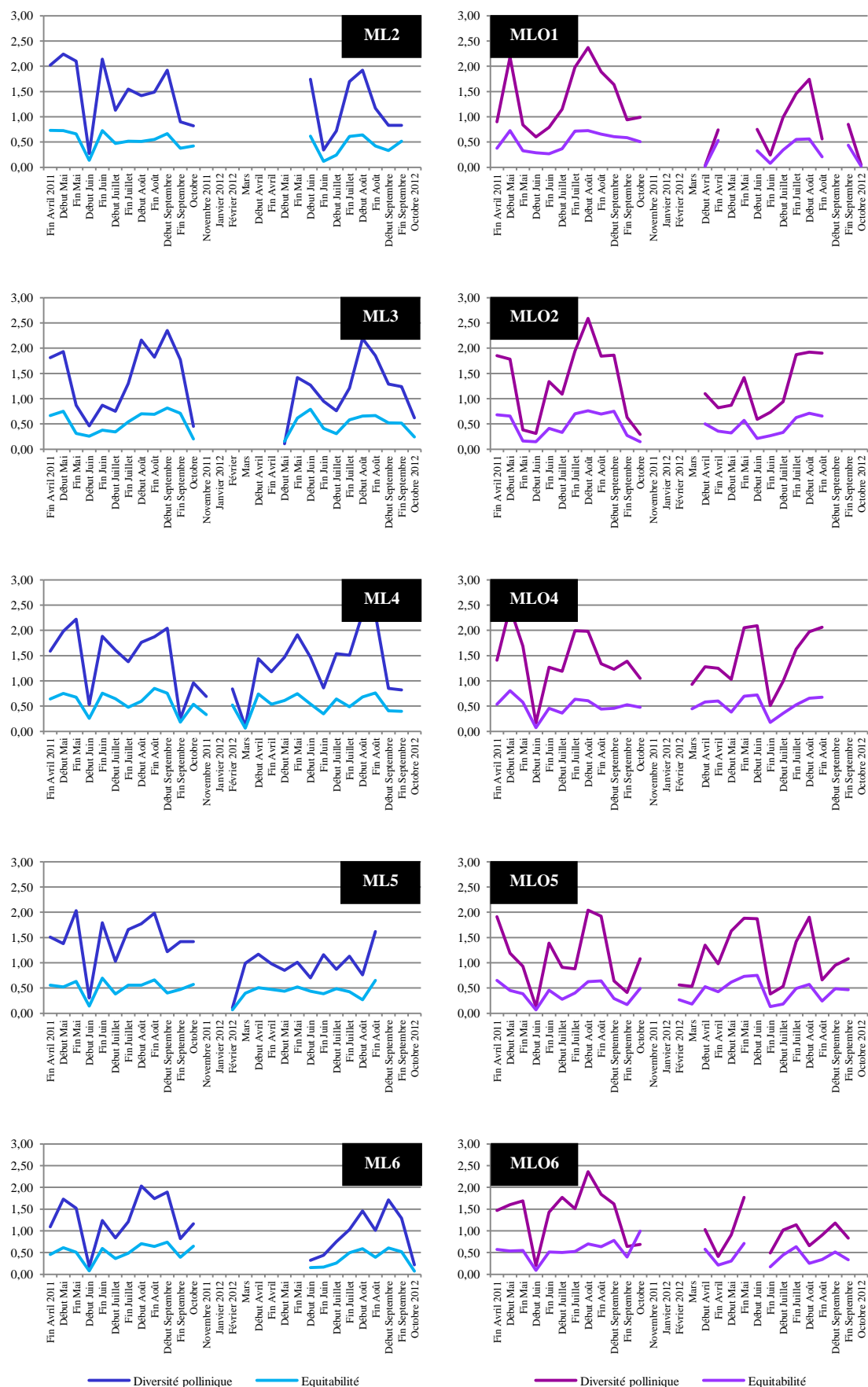
Annexe 5. Résultats des tests de Wilcoxon réalisés pour chaque taxon pollinique sur l'ensemble des paires d'échantillons (pelotes de pollen de plancher et pelotes de pollen de trappe de la même colonie à un même temps T)

Taxons polliniques	p-value (test de Wilcoxon)	Taxons polliniques	p-value (test de Wilcoxon)
<i>Acer</i>	1,00	<i>Oenothera</i>	1,00
Apiaceae	0,40	Papaveraceae	1,00
Asteraceae liguliflores	0,67	<i>Parthenocissus</i>	0,37
Asteraceae tubuliflores	0,48	<i>Phacelia</i>	1,00
<i>Begonia</i>	1,00	<i>Plantago</i>	0,06
Brassicaceae	0,45	Poaceae	0,92
<i>Campanula</i>	1,00	<i>Quercus</i>	1,00
<i>Castanea</i>	0,57	Ranunculaceae	1,00
<i>Cedrus</i>	0,37	<i>Reseda</i>	0,18
<i>Centaurea</i>	0,10	<i>Rhamnus</i>	0,36
Céréales	0,36	<i>Salix</i>	0,18
Chenopodiaceae	0,37	<i>Sambucus</i>	1,00
<i>Cistus</i>	0,37	Scrophulariaceae	0,37
<i>Convolvulus</i>	1,00	<i>Tilia</i>	1,00
<i>Cornus</i>	0,37	type <i>Allium</i>	1,00
<i>Echium</i>	0,37	type <i>Buddleja</i>	0,18
<i>Elaeagnus</i>	0,10	type <i>Cirsium</i>	0,86
Ericaceae	0,37	type <i>Crataegus</i>	0,37
<i>Euphorbia</i>	1,00	type <i>Galega</i>	0,37
Fabaceae	0,29	type <i>Iris</i>	1,00
<i>Fagopyrum</i>	0,37	type <i>Lotus</i>	0,48
<i>Gentiana</i>	1,00	type <i>Tofieldia</i>	1,00
<i>Hedera</i>	0,20	type <i>Ornithogalum</i>	0,18
<i>Helianthemum</i>	1,00	type <i>Prunus</i>	1,00
<i>Helianthus</i>	1,00	type <i>Raphanus</i>	0,37
<i>Impatiens</i>	1,00	type <i>Rubus</i>	0,02
Indéterminés	0,14	type <i>Solidago</i>	1,00
<i>Lagerstroemia</i>	1,00	type <i>Taraxacum</i>	0,42
Lamiaceae	0,10	type <i>Trifolium</i>	0,84
<i>Ligustrum</i>	0,15	type <i>Vicia</i>	1,00
Liliaceae	1,00	Urticaceae	1,00
<i>Lonicera</i>	0,37	<i>Viburnum</i>	0,18
<i>Lythrum</i>	0,37	<i>Viola</i>	1,00
Myrtaceae	1,00		

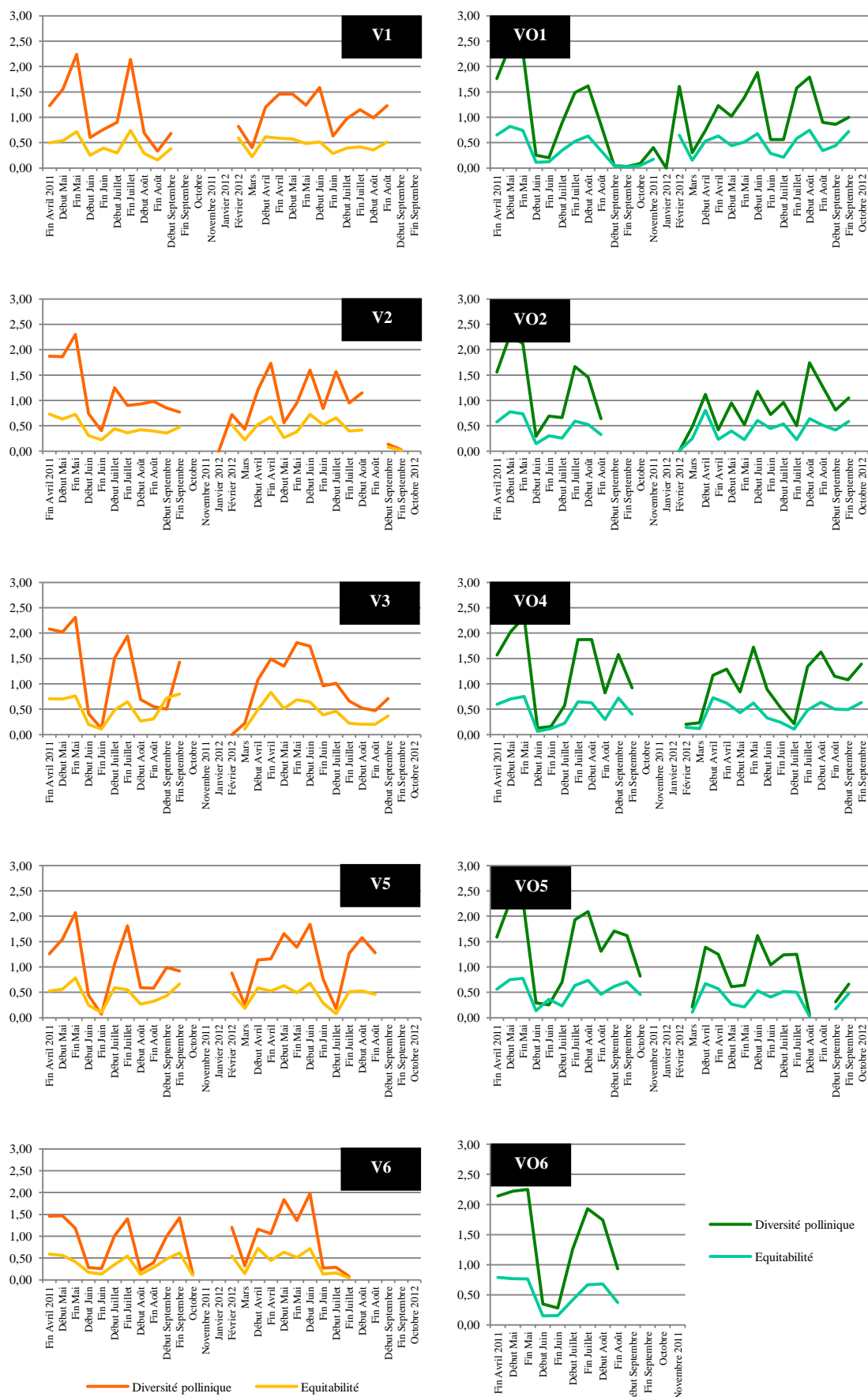
Annexe 6. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les échantillons de pelotes de pollen à l'échelle de la famille (les échantillons sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie) : **A = Carte factorielle** (en violet, les échantillons et en orange, les familles polliniques), **B = Carte factorielle après une Classification Hiérarchique sur Composantes Principales (HCPC)**



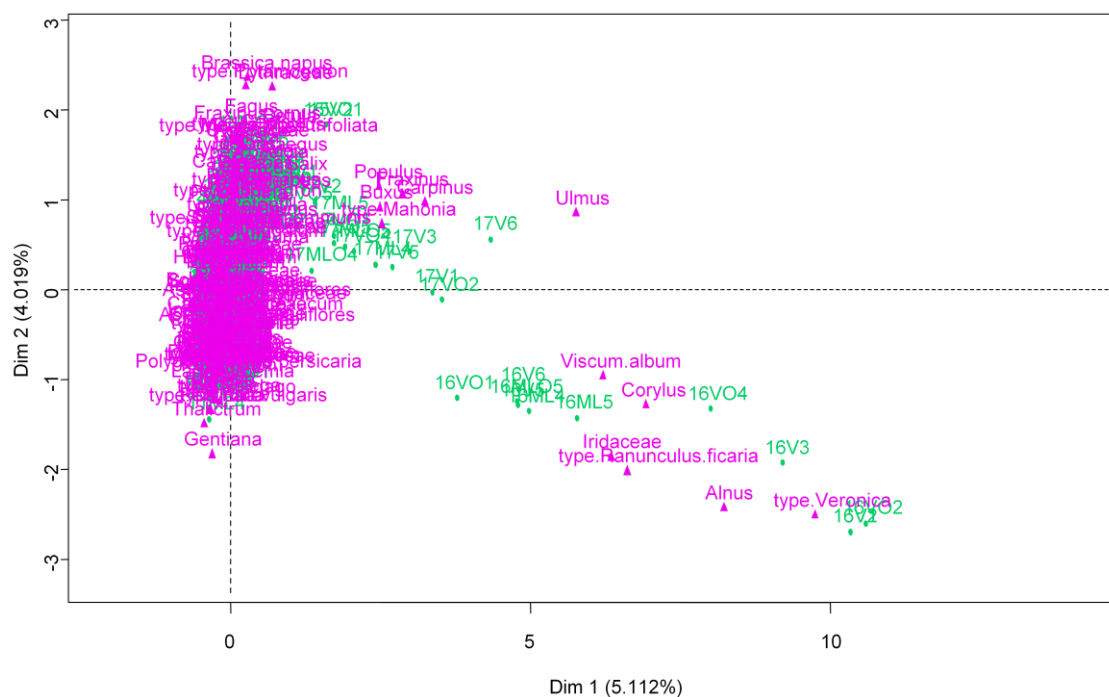
Annexe 7. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s) et équitabilité (E) des échantillons de pelotes de pollen au cours de la saison apicole 2011 et 2012 pour les différentes colonies du rucher ML



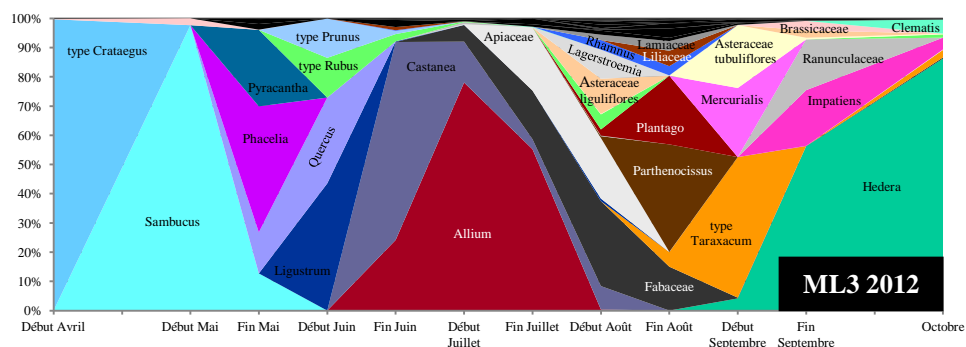
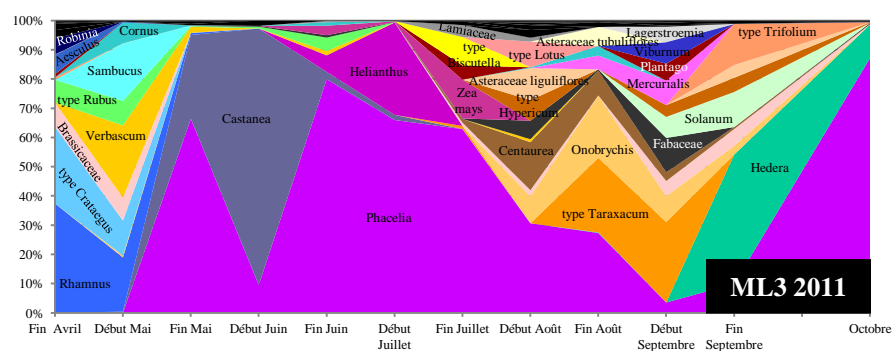
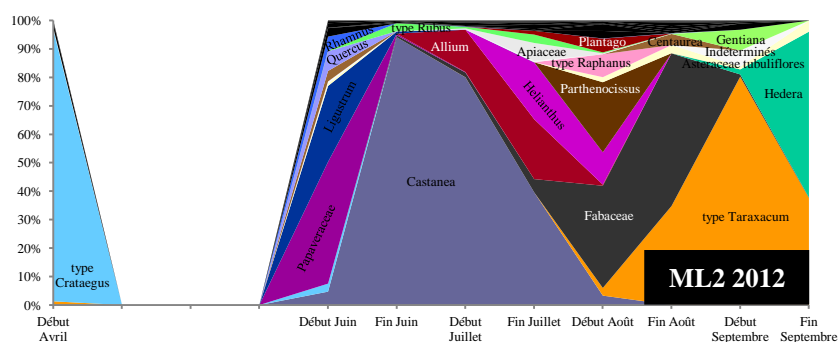
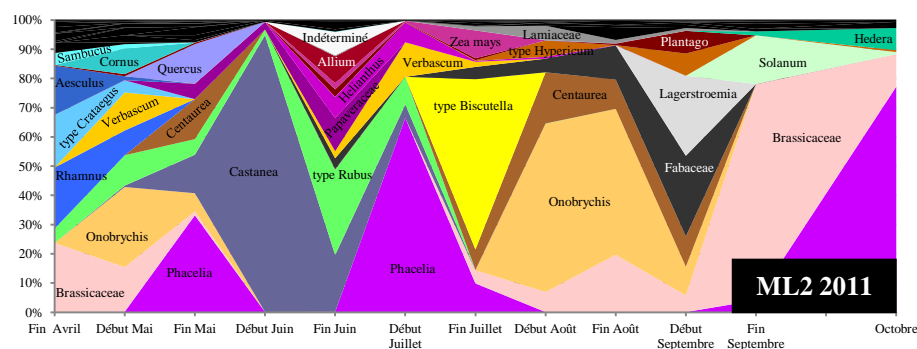
Annexe 8. Diversité pollinique (indice de Shannon, H_s) et équitabilité (E) des échantillons de pelotes de pollen au cours de la saison apicole 2011 et 2012 pour les différentes colonies du rucher V

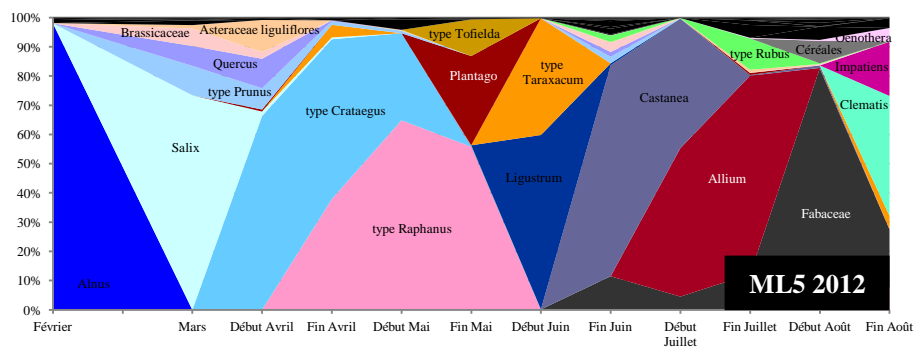
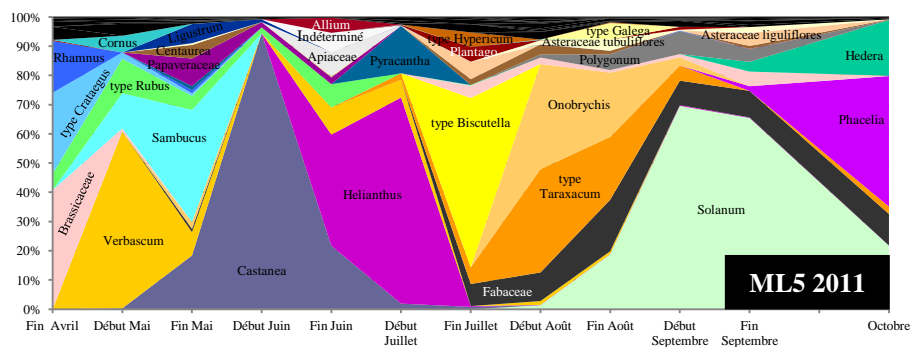
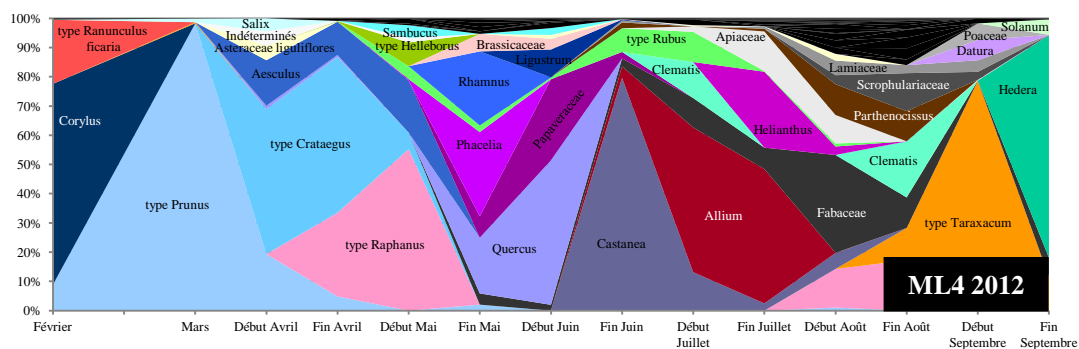
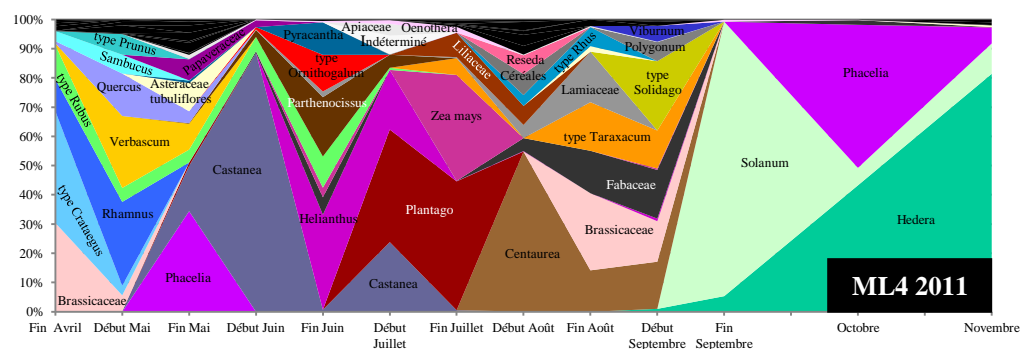


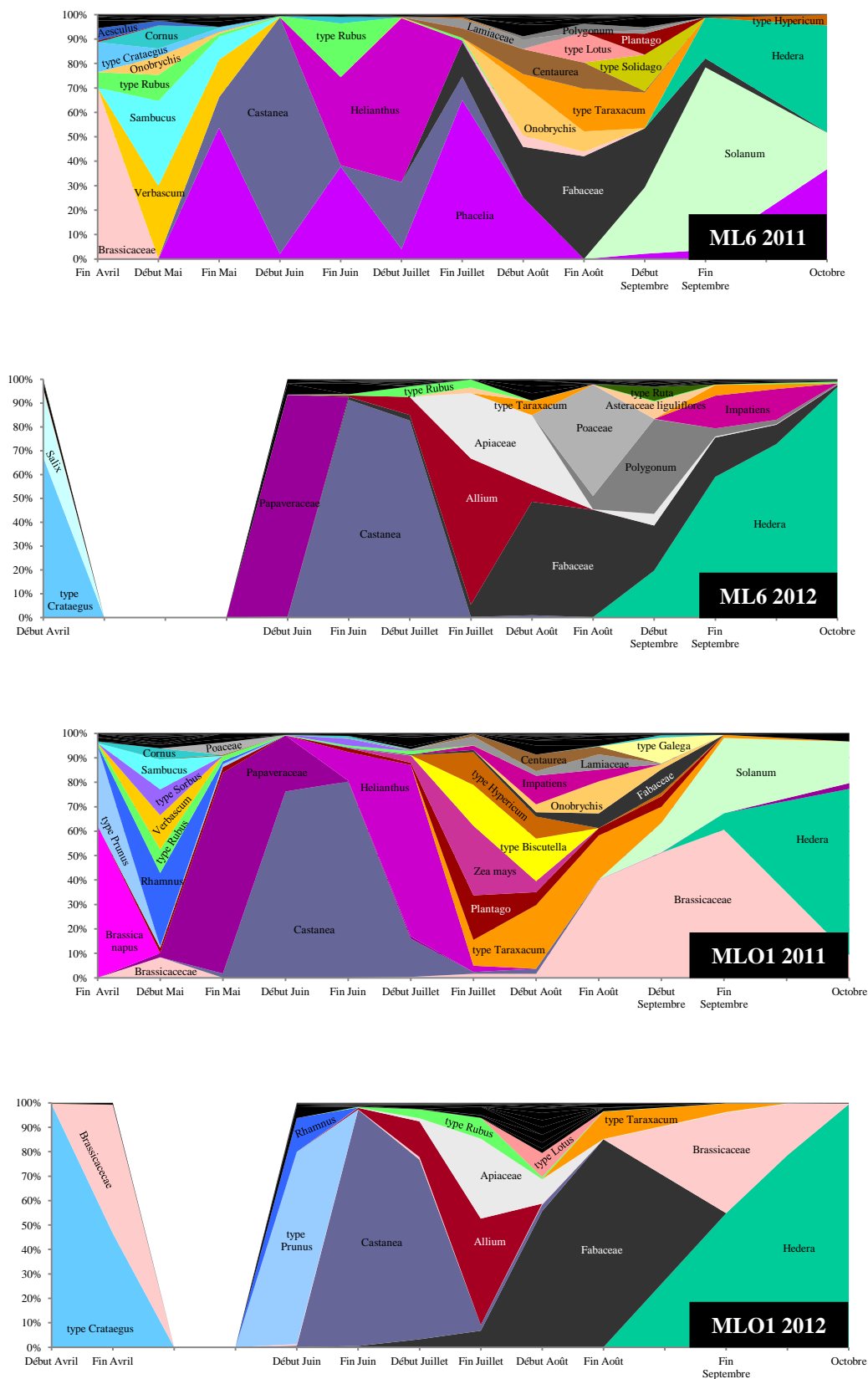
Annexe 9. Carte factorielle de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les échantillons de pelotes de pollen (les échantillons sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie ; en vert, les échantillons et en rose, les taxons polliniques)

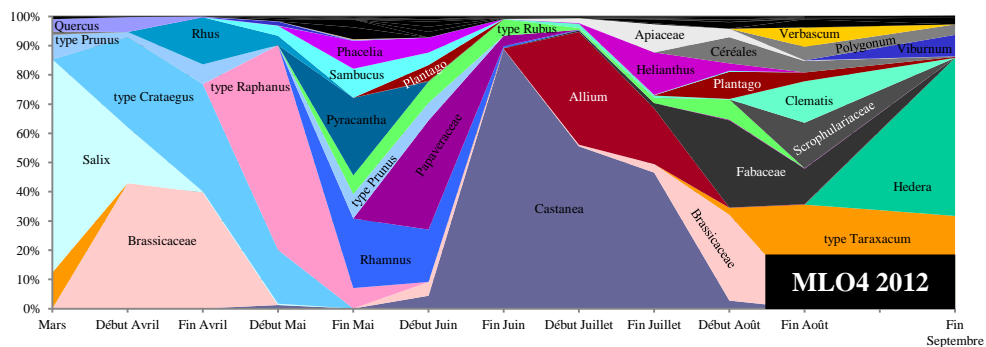
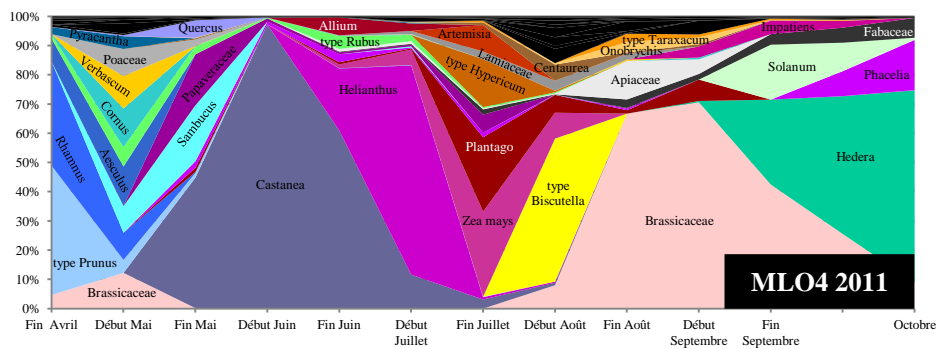
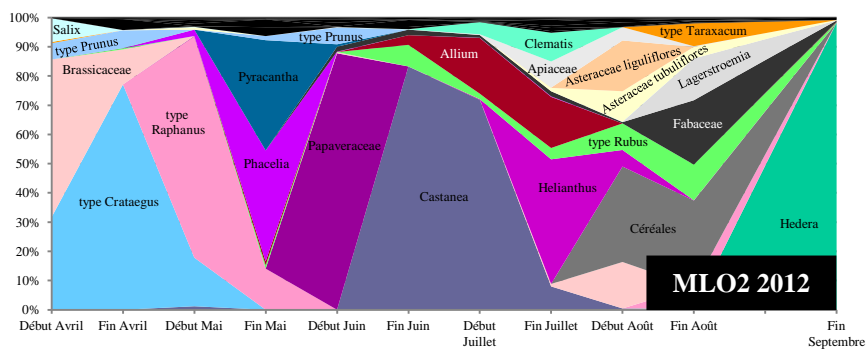
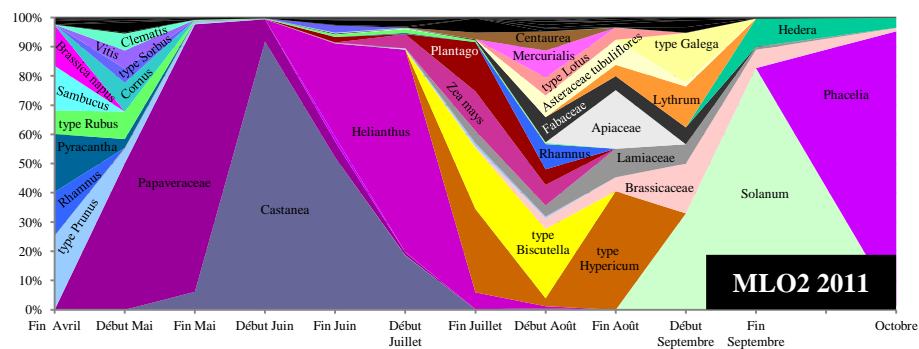


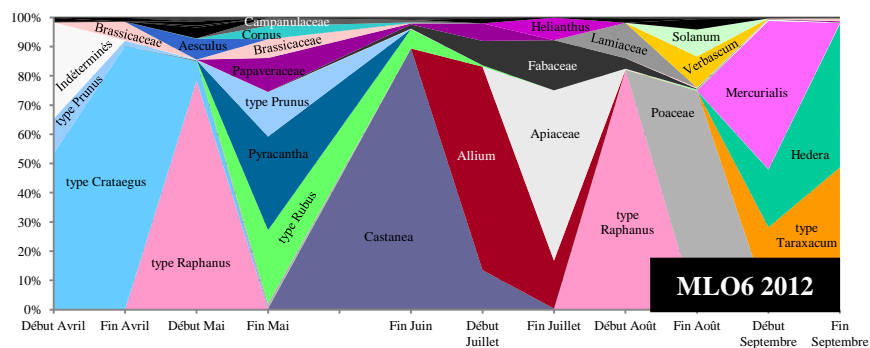
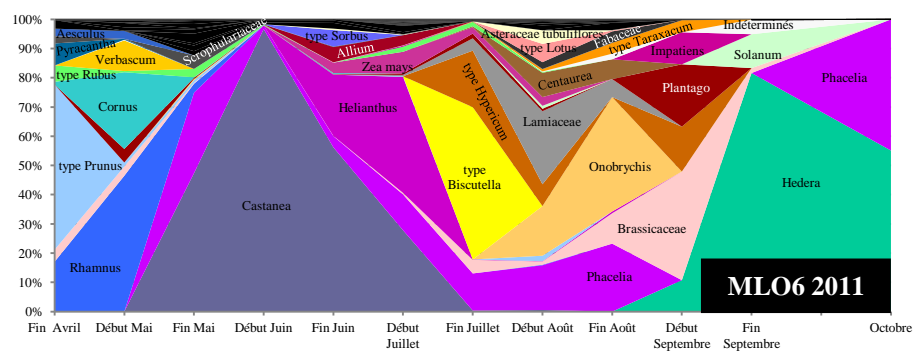
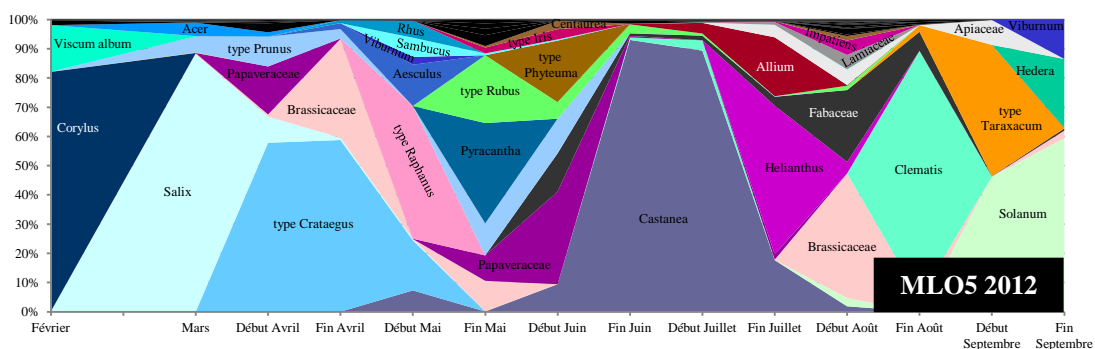
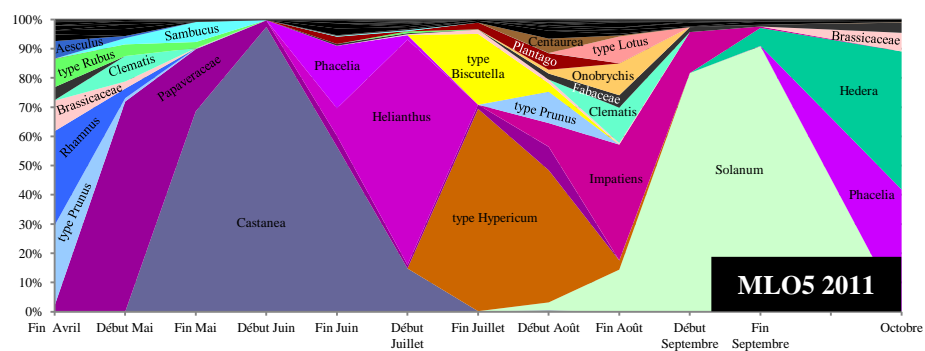
Annexe 10. Profils palynologiques des différentes colonies du rucher ML, en 2011 et 2012 (seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques ; les espèces présentes à moins de 5 % figurent dans un tableau à suivre)







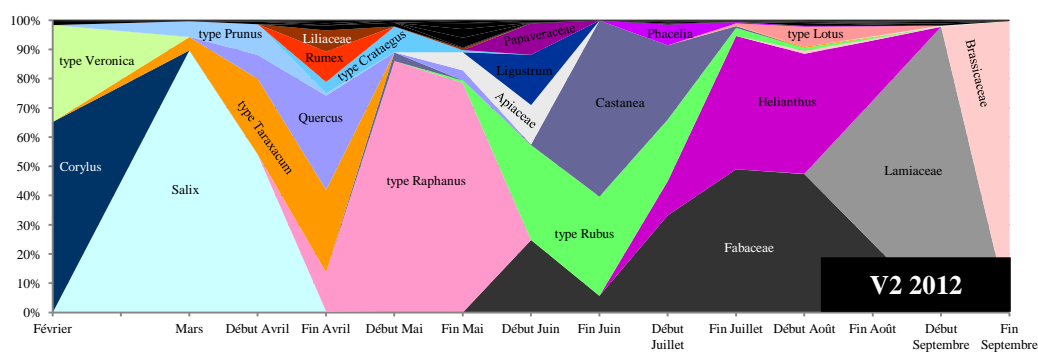
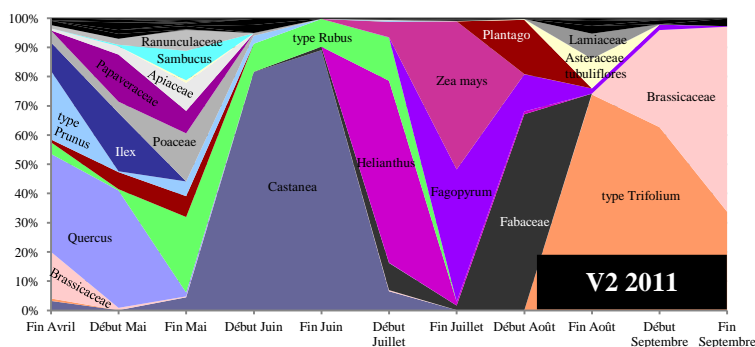
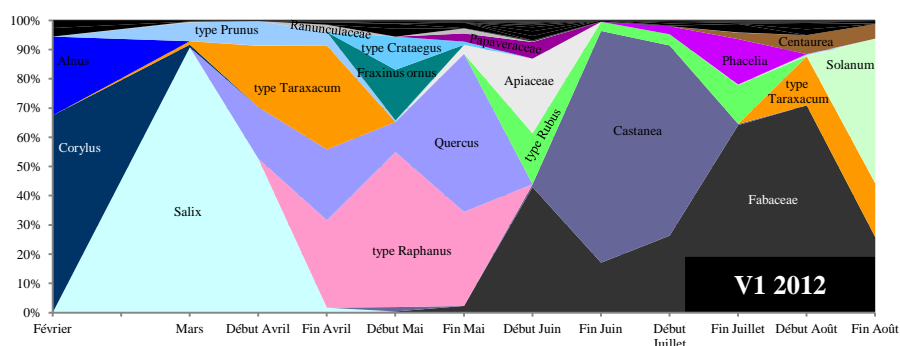
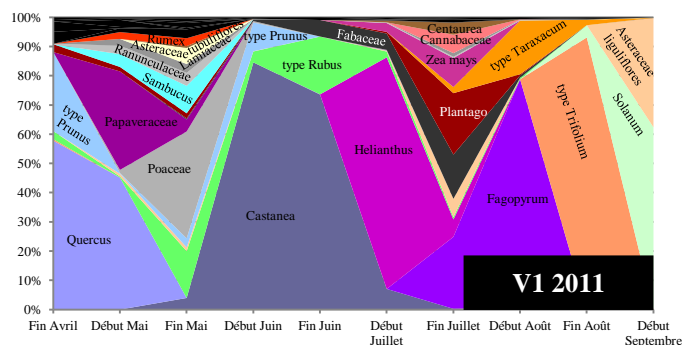


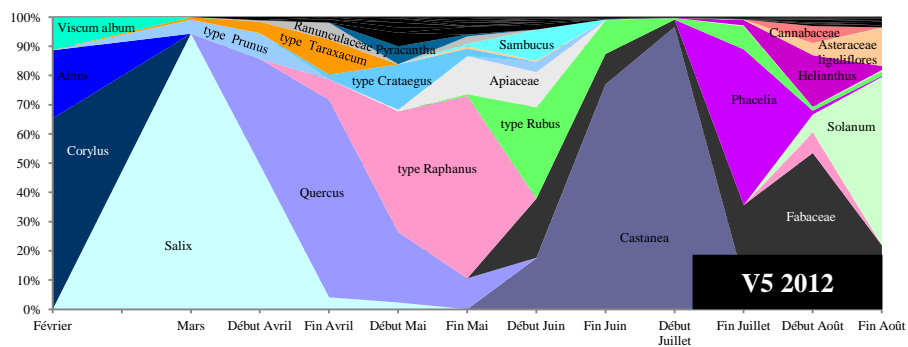
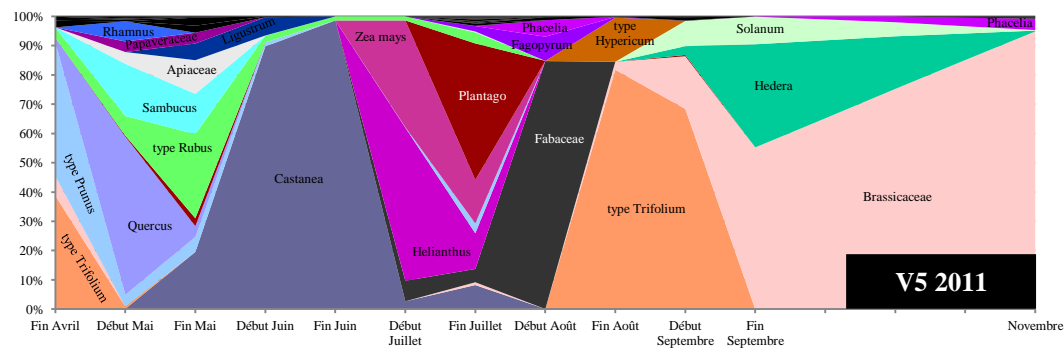
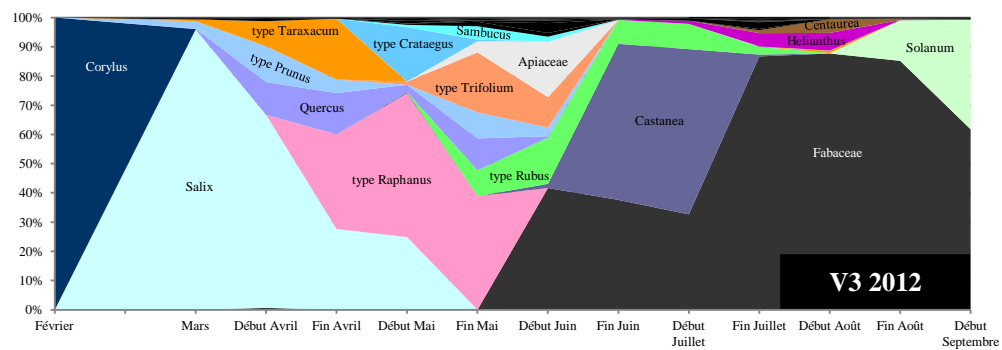
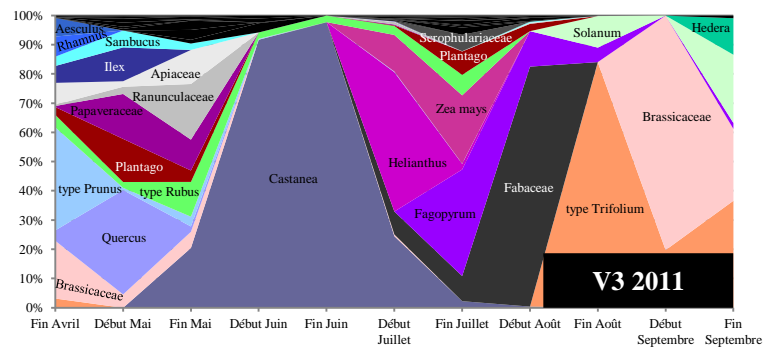


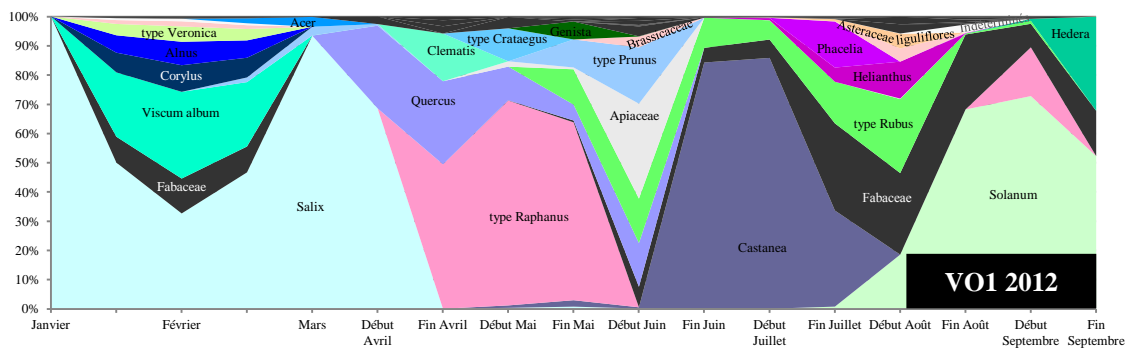
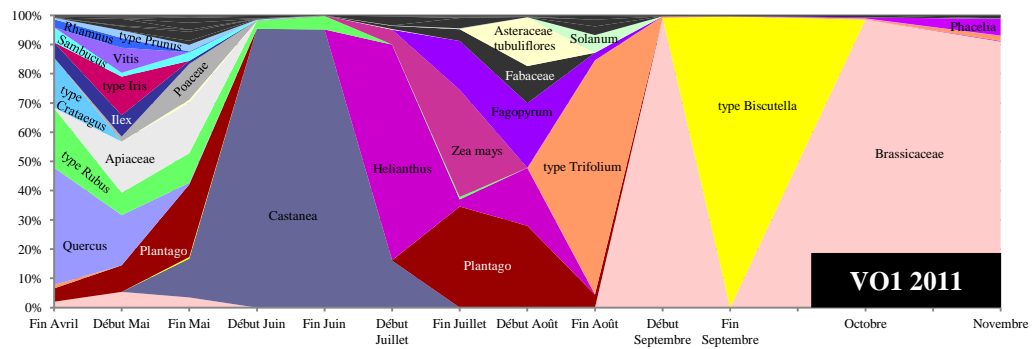
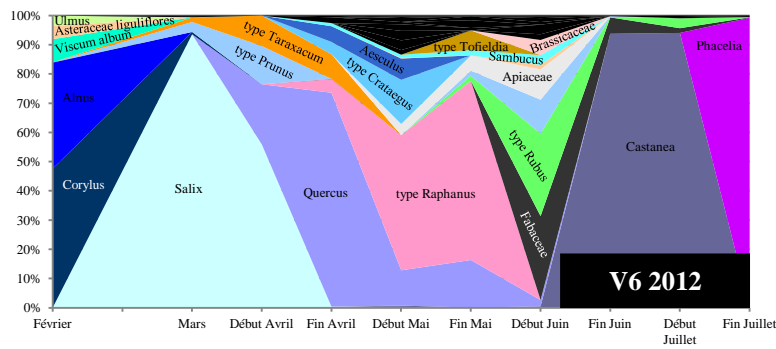
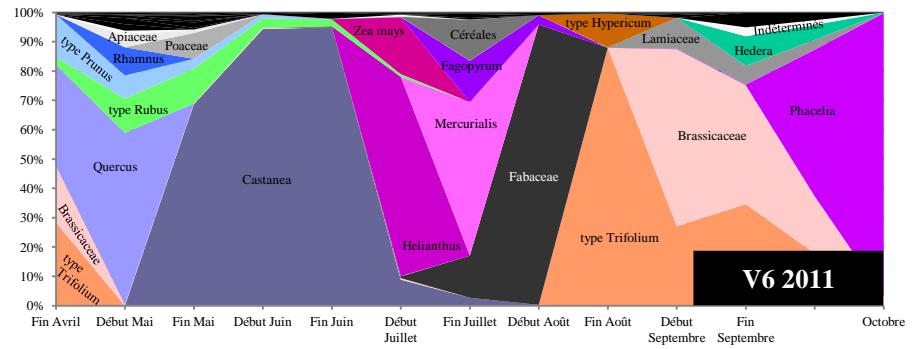
ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>
Apiaceae	Apiaceae	<i>Aesculus</i>	<i>Aesculus</i>	Apiaceae	<i>Aesculus</i>	<i>Aesculus</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Allium</i>	Apiaceae
Asteraceae liguliflores	<i>Artemisia</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Allium</i>	<i>Ailanthus</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Ambrosia</i>	<i>Artemisia</i>
Asteraceae tubuliflores	<i>Calystegia</i>	<i>Borago officinalis</i>	<i>Calystegia</i>	Asteraceae liguliflores	Apiaceae	<i>Allium</i>	<i>Borago officinalis</i>	Apiaceae	Asteraceae liguliflores
<i>Calystegia</i>	Céréales	<i>Campanula</i>	<i>Campanula</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Artemisia</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Calystegia</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Calystegia</i>
Chenopodiaceae	<i>Cistus</i>	Chenopodiaceae	<i>Cephalaria</i>	<i>Calystegia</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Betula</i>	Campanulaceae	Asteraceae tubuliflores	<i>Campanula</i>
<i>Cistus</i>	<i>Convolvulus</i>	<i>Cistus</i>	Céréales	<i>Campanula</i>	Asteraceae tubuliflores	Caryophyllaceae	Caryophyllaceae	<i>Calystegia</i>	Caryophyllaceae
<i>Fagopyrum</i>	Cupressaceae	<i>Convolvulus</i>	Chenopodiaceae	Campanulaceae	<i>Calystegia</i>	Céréales	Céréales	<i>Campanula</i>	Céréales
<i>Genista</i>	<i>Datura</i>	<i>Fagopyrum</i>	<i>Cistus</i>	<i>Cephalaria</i>	Campanulaceae	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae	Caryophyllaceae	Chenopodiaceae
Indéterminés	<i>Impatiens</i>	<i>Genista</i>	<i>Convolvulus</i>	Chenopodiaceae	<i>Catalpa</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Clematis</i>	<i>Cephalaria</i>	<i>Clematis</i>
<i>Juglans</i>	Indéterminés	<i>Geranium</i>	<i>Fagopyrum</i>	<i>Cistus</i>	Convolvulaceae	<i>Echium</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	Céréales	<i>Convolvulus</i>
<i>Ligustrum</i>	<i>Lythrum</i>	Indéterminés	<i>Impatiens</i>	<i>Clematis</i>	<i>Convolvulus</i>	<i>Elaeagnus</i>	Ericaceae	Chenopodiaceae	<i>Cucurbita pepo</i>
Liliaceae	Malvaceae	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	<i>Convolvulus</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	Ericaceae	<i>Fagopyrum</i>	<i>Cornus</i>	Cupressaceae
Malvaceae	<i>Oenothera</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Juglans</i>	Cupressaceae	<i>Elaeagnus</i>	Euphorbiaceae	<i>Genista</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Echium</i>
<i>Mercurialis</i>	Papaveraceae	Malvaceae	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Fagopyrum</i>	Indéterminés	<i>Ilex</i>	<i>Geranium</i>	Ericaceae	Ericaceae
<i>Oenothera</i>	<i>Pinus</i>	<i>Mercurialis</i>	Lamiaceae	<i>Helianthemum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Impatiens</i>	<i>Ilex</i>	Indéterminés	<i>Fagus</i>
<i>Parthenocissus</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Olea</i>	Liliaceae	Indéterminés	<i>Lonicera</i>	Indéterminés	Indéterminés	Lamiaceae	<i>Ligustrum</i>
<i>Pinus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Onobrychis</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Lonicera</i>
Poaceae	Ranunculaceae	<i>Pinus</i>	Malvaceae	<i>Mercurialis</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Lonicera</i>	Liliaceae	Malvaceae
<i>Polygonum</i>	<i>Rhus</i>	Poaceae	<i>Mercurialis</i>	Papaveraceae	<i>Parthenocissus</i>	Malvaceae	<i>Lythrum</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Mercurialis</i>
<i>Pyracantha</i>	<i>Salix</i>	<i>Scabiosa</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Oenothera</i>	Malvaceae	Malvaceae	<i>Oenothera</i>
<i>Ranunculaceae</i>	Scrophulariaceae	Scrophulariaceae	<i>Parthenocissus</i>	Poaceae	<i>Pinus</i>	<i>Onobrychis</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Olea</i>
<i>Rhus</i>	<i>Tilia</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Oenothera</i>	Papaveraceae
<i>Robinia</i>	type <i>Cirsium</i>	type <i>Hypericum</i>	Poaceae	Ranunculaceae	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	Poaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>Olea</i>	<i>Parthenocissus</i>
<i>Sanguisorba</i>	type <i>Prunus</i>	type <i>Ipomea</i>	<i>Quercus</i>	<i>Reseda</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Pinus</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Picea</i>
Spores trilètes	Urticaceae	type <i>Liriodendron</i>	Ranunculaceae	<i>Rhamnus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Polygonum</i>	Poaceae	<i>Pinus</i>
<i>Tilia</i>		type <i>Prunus</i>	<i>Robinia</i>	<i>Robinia</i>	Ranunculaceae	Ranunculaceae	Ranunculaceae	<i>Polygonum</i>	Poaceae
type <i>Cirsium</i>		type <i>Trifolium</i>	<i>Scabiosa</i>	<i>Rumex</i>	<i>Rhus</i>	<i>Reseda</i>	<i>Reseda</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Polygonum</i>
type <i>Liriodendron</i>		Urticaceae	Scrophulariaceae	<i>Salix</i>	<i>Robinia</i>	<i>Rhus</i>	<i>Rhus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>
type <i>Lotus</i>		<i>Vitis</i>	Spores trilètes	type <i>Cirsium</i>	<i>Salix</i>	<i>Robinia</i>	<i>Robinia</i>	Ranunculaceae	Ranunculaceae
type <i>Menyanthes trifoliata</i>			<i>Tilia</i>	type <i>Liriodendron</i>	Scrophulariaceae	<i>Rumex</i>	Rosaceae	<i>Reseda</i>	<i>Reseda</i>
type <i>Ornithogalum</i>			type <i>Cirsium</i>	type <i>Ornithogalum</i>	type <i>Cirsium</i>	Scrophulariaceae	<i>Salix</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ribes</i>
type <i>Prunus</i>			type <i>Liriodendron</i>	type <i>Prunus</i>	type <i>Crataegus</i>	<i>Tilia</i>	<i>Sanguisorba</i>	<i>Ribes</i>	<i>Robinia</i>
type <i>Taraxacum</i>			type <i>Ornithogalum</i>	Urticaceae	type <i>Liriodendron</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Scabiosa</i>	<i>Salix</i>	<i>Rumex</i>
type <i>Trifolium</i>			type <i>Phyteuma</i>	<i>Verbena</i>	type <i>Ornithogalum</i>	type <i>Liriodendron</i>	Scrophulariaceae	Scrophulariaceae	<i>Salix</i>
<i>Vitis</i>			type <i>Prunus</i>	<i>Zea mays</i>	Urticaceae	type <i>Potamogeton</i>	<i>Tilia</i>	<i>Tilia</i>	<i>Sambucus</i>
			type <i>Trifolium</i>		<i>Vitis</i>	type <i>Taraxacum</i>	type <i>Crataegus</i>	type <i>Liriodendron</i>	<i>Sanguisorba</i>
			Urticaceae			Urticaceae	type <i>Liriodendron</i>	type <i>Ornithogalum</i>	Spores trilètes
			<i>Verbena</i>			<i>Verbena</i>	type <i>Lotus</i>	type <i>Sorbus</i>	<i>Tilia</i>
			<i>Viburnum</i>				type <i>Ornithogalum</i>	type <i>Taraxacum</i>	type <i>Cirsium</i>
			<i>Vitis</i>				type <i>Potamogeton</i>	<i>Verbascum</i>	type <i>Crataegus</i>
			<i>Zea mays</i>				type <i>Sorbus</i>	<i>Viburnum</i>	type <i>Liriodendron</i>
							<i>Verbena</i>	<i>Vitis</i>	type <i>Nuphar</i>
							<i>Vitis</i>	<i>Zea mays</i>	type <i>Ornithogalum</i>
									Urticaceae
									<i>Vitis</i>

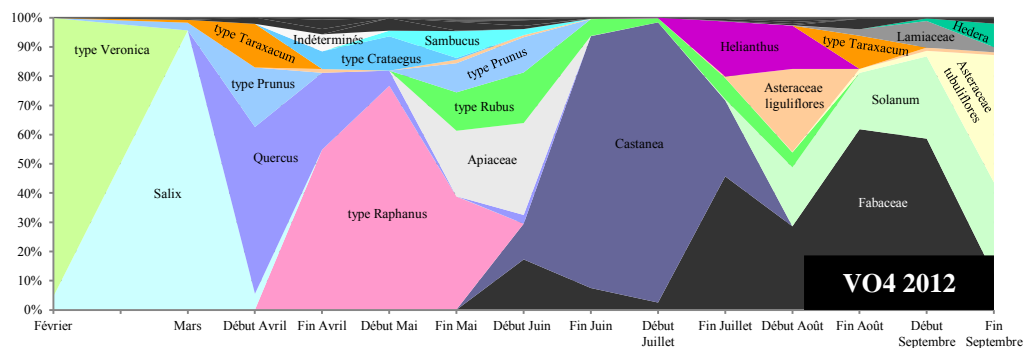
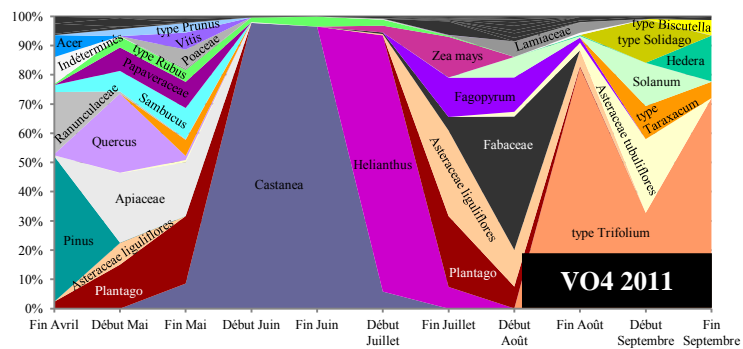
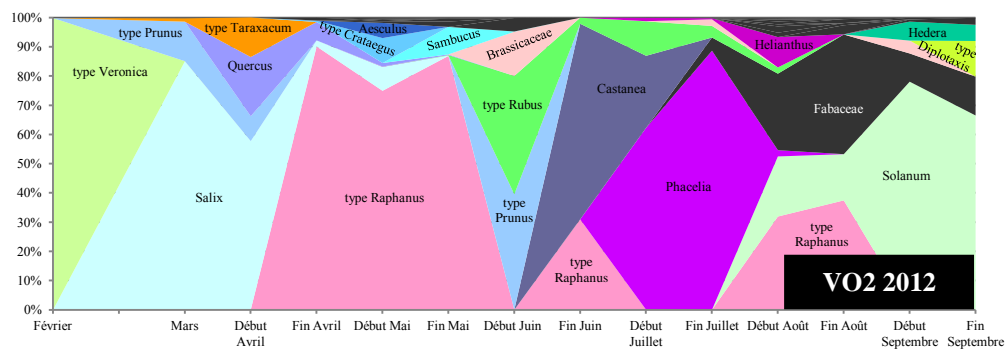
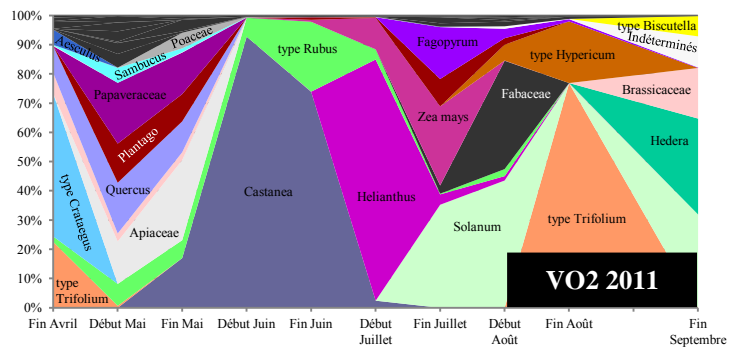
ML2	ML3	ML4	ML5	ML6	MLO1	MLO2	MLO4	MLO5	MLO6
<i>Acer</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Alnus</i>	<i>Acer</i>	<i>Ambrosia</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Acer</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Alnus</i>	Asteraceae liguliflores
Asteraceae liguliflores	<i>Buddleja</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Aesculus</i>	Asteraceae tubuliflores	Asteraceae tubuliflores	<i>Aesculus</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Artemisia</i>	Asteraceae tubuliflores
Brassicaceae	<i>Calystegia</i>	<i>Borago officinalis</i>	<i>Apiaceae</i>	Brassicaceae	<i>Campanula</i>	<i>Buddleja</i>	Asteraceae tubuliflores	Asteraceae liguliflores	<i>Centaurea</i>
<i>Buddleja</i>	Campanulaceae	<i>Buddleja</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Buddleja</i>	Campanulaceae	<i>Calystegia</i>	<i>Betula</i>	Asteraceae tubuliflores	Céréales
Céréales	<i>Centaurea</i>	<i>Calystegia</i>	<i>Betula</i>	<i>Calystegia</i>	<i>Centaurea</i>	Campanulaceae	Campanulaceae	<i>Betula</i>	Chenopodiaceae
Chenopodiaceae	Céréales	Caryophyllaceae	<i>Buddleja</i>	Campanulaceae	Céréales	<i>Centaurea</i>	<i>Centaurea</i>	<i>Borago officinalis</i>	<i>Clematis</i>
<i>Clematis</i>	Chenopodiaceae	<i>Centaurea</i>	<i>Buxus</i>	Céréales	<i>Cistus</i>	Convolvulaceae	Chenopodiaceae	Campanulaceae	<i>Convolvulus</i>
<i>Convolvulus</i>	<i>Cistus</i>	Céréales	<i>Centaurea</i>	Chenopodiaceae	<i>Clematis</i>	<i>Convolvulus</i>	<i>Cistus</i>	<i>Carpinus</i>	Cupressaceae
<i>Cornus</i>	<i>Convolvulus</i>	Chenopodiaceae	Chenopodiaceae	<i>Cistus</i>	<i>Cornus</i>	<i>Cornus</i>	Convolvulaceae	Céréales	<i>Datura</i>
<i>Lagerstroemia</i>	<i>Cornus</i>	<i>Cistus</i>	<i>Cornus</i>	<i>Clematis</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	Ericaceae	<i>Cornus</i>	<i>Cistus</i>	Ericaceae
Lamiaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Corylus</i>	<i>Convolvulus</i>	Ericaceae	<i>Fagopyrum</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	Convolvulaceae	<i>Fagopyrum</i>
<i>Lonicera</i>	Ericaceae	Cupressaceae	<i>Epilobium</i>	<i>Cornus</i>	Euphorbiaceae	<i>Genista</i>	Ericaceae	<i>Cornus</i>	<i>Juglans</i>
<i>Lythrum</i>	<i>Galium</i>	<i>Elaeagnus</i>	Ericaceae	<i>Datura</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Ilex</i>	<i>Ilex</i>	Cupressaceae	<i>Ligustrum</i>
<i>Mercurialis</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Helianthemum</i>	Ericaceae	Indéterminés	Indéterminés	Indéterminés	<i>Epilobium</i>	<i>Lonicera</i>
<i>Oenothera</i>	Indéterminés	Euphorbiaceae	<i>Helianthus</i>	<i>Fagopyrum</i>	Lamiaceae	Lamiaceae	<i>Lagerstroemia</i>	Ericaceae	<i>Parthenocissus</i>
<i>Onobrychis</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Fagopyrum</i>	Indéterminés	<i>Galium</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum</i>	Lamiaceae	<i>Ilex</i>	<i>Phacelia</i>
<i>Phacelia</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Helianthemum</i>	Lamiaceae	<i>Helianthus</i>	Liliaceae	Liliaceae	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	<i>Pinus</i>
Poaceae	Papaveraceae	<i>Impatiens</i>	Liliaceae	Indéterminés	<i>Mercurialis</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Lonicera</i>	Iridaceae	<i>Plantago</i>
<i>Polygonum</i>	<i>Pinus</i>	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Picea</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Quercus</i>
<i>Populus</i>	Poaceae	Liliaceae	Papaveraceae	Lamiaceae	Papaveraceae	<i>Plantago</i>	<i>Onobrychis</i>	Liliaceae	Ranunculaceae
<i>Pyracantha</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Parthenocissus</i>	Poaceae	<i>Parthenocissus</i>	<i>Linum</i>	<i>Rhus</i>
Ranunculaceae	<i>Silene</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Quercus</i>	<i>Pinus</i>	Malvaceae	<i>Rumex</i>
<i>Ribes</i>	<i>Tilia</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Pinus</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Pinus</i>	Ranunculaceae	Poaceae	<i>Oenothera</i>	<i>Salix</i>
<i>Salix</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Oenothera</i>	Poaceae	Malvaceae	<i>Plantago</i>	<i>Rhamnus</i>	Ranunculaceae	<i>Onobrychis</i>	type <i>Fragaria</i>
<i>Sambucus</i>	type <i>Genista</i>	<i>Onobrychis</i>	<i>Populus</i>	<i>Mercurialis</i>	Poaceae	<i>Sambucus</i>	<i>Solanum</i>	<i>Parthenocissus</i>	type <i>Genista</i>
Scrophulariaceae	type <i>Raphanus</i>	<i>Plantago</i>	Ranunculaceae	<i>Oenothera</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Solanum</i>	<i>Tilia</i>	<i>Phacelia</i>	type <i>Helleborus</i>
<i>Silene</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Tilia</i>	type <i>Iris</i>	<i>Pinus</i>	type <i>Lotus</i>
<i>Tilia</i>	<i>Verbena</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Rhus</i>	<i>Phacelia</i>	Ranunculaceae	type <i>Cirsium</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Plantago</i>	type <i>Phyteuma</i>
type <i>Cirsium</i>	<i>Viburnum</i>	Ranunculaceae	<i>Sambucus</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Salix</i>	type <i>Iris</i>	Urticaceae	Poaceae	<i>Tilia</i>
type <i>Diploaxis</i>		<i>Robinia</i>	<i>Symphytum</i>	<i>Quercus</i>	<i>Sambucus</i>	type <i>Potentilla</i>	<i>Viscum album</i>	<i>Populus</i>	
type <i>Iris</i>		<i>Sanguisorba</i>	<i>Tropaeolum</i>	Ranunculaceae	Scrophulariaceae	Urticaceae		<i>Quercus</i>	
type <i>Lotus</i>		<i>Scabiosa</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Tilia</i>	<i>Viburnum</i>		Ranunculaceae	
type <i>Prunus</i>		<i>Silene</i>	type <i>Fragaria</i>	<i>Robinia</i>	type <i>Cirsium</i>			<i>Reseda</i>	
type <i>Trifolium</i>		<i>Tilia</i>	Urticaceae	<i>Sambucus</i>	type <i>Diploaxis</i>			<i>Ribes</i>	
Urticaceae		<i>Tropaeolum</i>	<i>Viburnum</i>	<i>Scabiosa</i>	Urticaceae			<i>Sanguisorba</i>	
<i>Verbascum</i>		type <i>Cirsium</i>	<i>Viscum album</i>	Scrophulariaceae	<i>Verbena</i>			Scrophulariaceae	
<i>Verbena</i>		type <i>Diploaxis</i>		<i>Silene</i>	<i>Vitis</i>			<i>Silene</i>	
		type <i>Iris</i>		<i>Tilia</i>				<i>Tilia</i>	
		type <i>Lotus</i>		type <i>Ipomea</i>				type <i>Cirsium</i>	
		type <i>Tofieldia</i>		type <i>Prunus</i>				type <i>Ipomea</i>	
		type <i>Trifolium</i>		type <i>Trifolium</i>				type <i>Lotus</i>	
		Urticaceae		<i>Verbascum</i>				type <i>Mahonia</i>	
		<i>Verbascum</i>		<i>Viburnum</i>				type <i>Trifolium</i>	
		<i>Verbena</i>						<i>Verbena</i>	
		<i>Viburnum</i>							

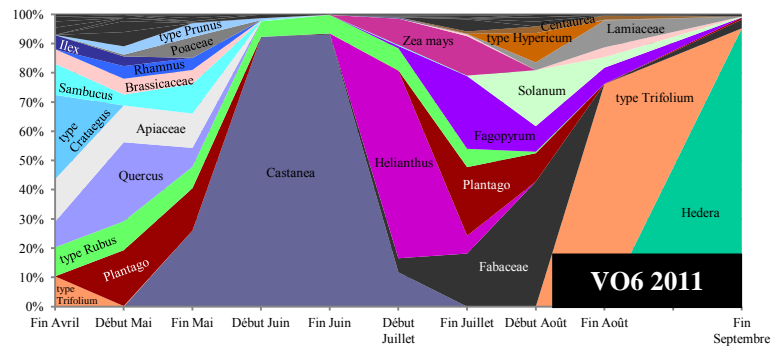
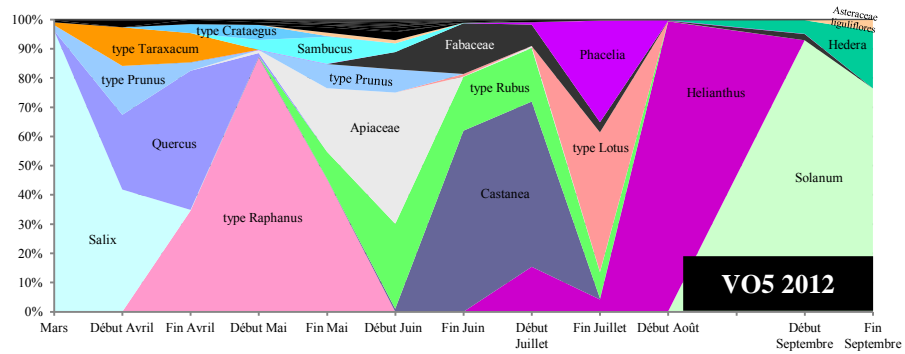
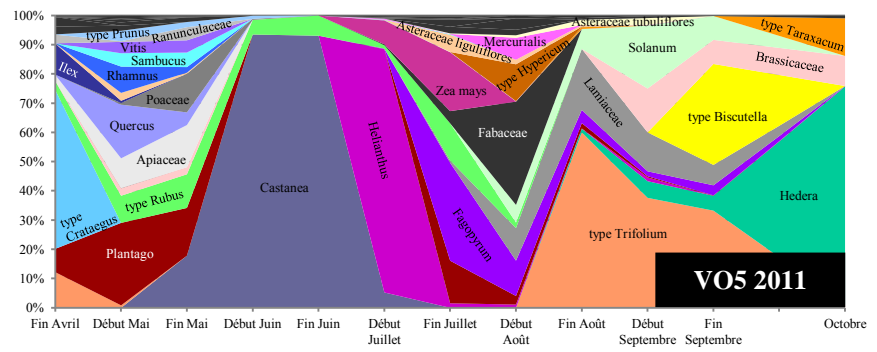
Annexe 11. Profils palynologiques des différentes colonies du rucher V, en 2011 et 2012
(seules les espèces présentes à plus de 5 % sur la totalité de la saison apicole figurent dans ces graphiques ; les espèces présentes à moins de 5 % figurent dans un tableau à suivre)









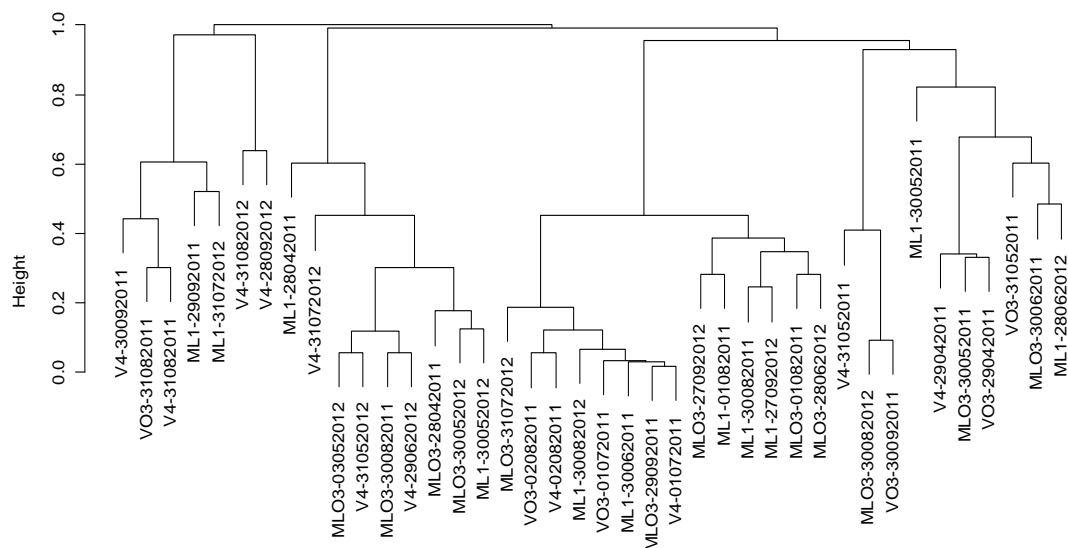


2011									
V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5	VO6
<i>Acer</i>	Asteraceae liguliflores	Asteraceae liguliflores	<i>Aesculus</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	Brassicaceae	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>
Apiaceae	Caryophyllaceae	Asteraceae tubuliflores	<i>Allium</i>	Asteraceae tubuliflores	Asteraceae liguliflores	Asteraceae liguliflores	<i>Centaurea</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Aesculus</i>
Brassicaceae	<i>Centaurea</i>	<i>Calystegia</i>	Asteraceae liguliflores	Cannabaceae	Caryophyllaceae	<i>Centaurea</i>	Chenopodiaceae	Caryophyllaceae	Asteraceae liguliflores
Chenopodiaceae	Céréales	Caryophyllaceae	Asteraceae tubuliflores	<i>Centaurea</i>	<i>Centaurea</i>	Chenopodiaceae	<i>Cistus</i>	<i>Centaurea</i>	Asteraceae tubuliflores
<i>Cornus</i>	Chenopodiaceae	<i>Centaurea</i>	<i>Calystegia</i>	<i>Cornus</i>	Chenopodiaceae	<i>Cornus</i>	<i>Cornus</i>	Chenopodiaceae	<i>Calystegia</i>
<i>Epilobium</i>	<i>Convolvulus</i>	Céréales	<i>Centaurea</i>	Ericaceae	<i>Cornus</i>	Cyperaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Cistus</i>	Cannabaceae
<i>Ilex</i>	<i>Cornus</i>	Chenopodiaceae	Céréales	<i>Ligustrum</i>	Ericaceae	Ericaceae	Cupressaceae	<i>Convolvulus</i>	Chenopodiaceae
<i>Impatiens</i>	Cupressaceae	<i>Cistus</i>	Chenopodiaceae	<i>Linum</i>	<i>Fumaria</i>	<i>Filipendula</i>	Ericaceae	<i>Cornus</i>	<i>Cistus</i>
Indéterminés	Ericaceae	<i>Convolvulus</i>	<i>Cistus</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Hedera</i>	<i>Ilex</i>	<i>Genista</i>	Ericaceae	<i>Convolvulus</i>
<i>Juglans</i>	<i>Hedera</i>	<i>Cornus</i>	Ericaceae	Papaveraceae	<i>Impatiens</i>	<i>Impatiens</i>	<i>Ilex</i>	<i>Genista</i>	<i>Cucurbita pepo</i>
<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	Ericaceae	<i>Ilex</i>	<i>Parthenocissus</i>	Indéterminés	Lamiaceae	<i>Impatiens</i>	<i>Impatiens</i>	Cupressaceae
Liliaceae	<i>Juglans</i>	Indéterminés	Indéterminés	<i>Pinus</i>	Lamiaceae	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	<i>Eleagnus</i>
<i>Linum</i>	<i>Ligustrum</i>	Lamiaceae	Lamiaceae	<i>Plantago</i>	<i>Ligustrum</i>	Liliaceae	Liliaceae	<i>Ligustrum</i>	Ericaceae
<i>Lythrum</i>	<i>Linum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Linum</i>	<i>Lonicera</i>	<i>Filipendula</i>
Malvaceae	<i>Lonicera</i>	<i>Linum</i>	Poaceae	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	<i>Oenothera</i>	Malvaceae	<i>Lonicera</i>	Malvaceae	<i>Genista</i>
<i>Oenothera</i>	Malvaceae	<i>Lythrum</i>	<i>Polygonum</i>	Ranunculaceae	Papaveraceae	<i>Mercurialis</i>	<i>Lythrum</i>	Papaveraceae	Indéterminés
<i>Parthenocissus</i>	<i>Mercurialis</i>	Malvaceae	Ranunculaceae	<i>Rumex</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Phacelia</i>	Malvaceae	<i>Persicaria</i>	<i>Ligustrum</i>
<i>Rhamnus</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Rumex</i>	<i>Salix</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinus</i>	<i>Mercurialis</i>	<i>Phacelia</i>	Liliaceae
Scrophulariaceae	<i>Pinus</i>	<i>Parthenocissus</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Sambucus</i>	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	<i>Polygonum</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	<i>Linum</i>
<i>Tilia</i>	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	<i>Picea</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Solanum</i>	Ranunculaceae	<i>Pyracantha</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Lonicera</i>
type <i>Cirsium</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Pinus</i>	type <i>Taraxacum</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Rhus</i>	Ranunculaceae	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>	<i>Rhus</i>	<i>Lythrum</i>
type <i>Crataegus</i>	<i>Rhamnus</i>	Poaceae	Urticaceae	type <i>Liriodendron</i>	<i>Rumex</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Reseda</i>	<i>Rumex</i>	<i>Mercurialis</i>
type <i>Ornithogalum</i>	<i>Rumex</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Verbena</i>	type <i>Taraxacum</i>	<i>Salix</i>	<i>Rumex</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Salix</i>	Papaveraceae
Urticaceae	<i>Salix</i>	<i>Reseda</i>	<i>Vitis</i>	<i>Verbena</i>	Scrophulariaceae	<i>Salix</i>	<i>Rumex</i>	Scrophulariaceae	<i>Parthenocissus</i>
<i>Viola</i>	<i>Solanum</i>	<i>Ribes</i>		<i>Viola</i>	type <i>Dioscorea communis</i>	<i>Sanguisorba</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Tilia</i>	<i>Polygonum</i> type <i>persicaria</i>
<i>Vitis</i>	<i>Tilia</i>	<i>Rumex</i>		<i>Vitis</i>	type <i>Sorbus</i>	type <i>Dioscorea communis</i>	type <i>Crataegus</i>	type <i>Calluna vulgaris</i>	Ranunculaceae
	type <i>Cirsium</i>	<i>Salix</i>			type <i>Taraxacum</i>	type <i>Iris</i>	type <i>Hypericum</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Reseda</i>
	type <i>Hypericum</i>	<i>Teucrium</i>			Urticaceae	type <i>Prunus</i>	type <i>Iris</i>	type <i>Iris</i>	<i>Rumex</i>
	type <i>Ornithogalum</i>	type <i>Cirsium</i>			<i>Viburnum</i>	type <i>Sorbus</i>	type <i>Sorbus</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Salix</i>
	Urticaceae	type <i>Ornithogalum</i>			<i>Viola</i>	type <i>Taraxacum</i>	Urticaceae	type <i>Potentilla</i>	type <i>Biscutella</i>
	<i>Viburnum</i>	type <i>Taraxacum</i>				Urticaceae		type <i>Sorbus</i>	type <i>Cirsium</i>
	<i>Vitis</i>	<i>Viola</i>				<i>Vitis</i>		Urticaceae	type <i>Iris</i>
		<i>Vitis</i>							<i>Viola</i>
									<i>Vitis</i>

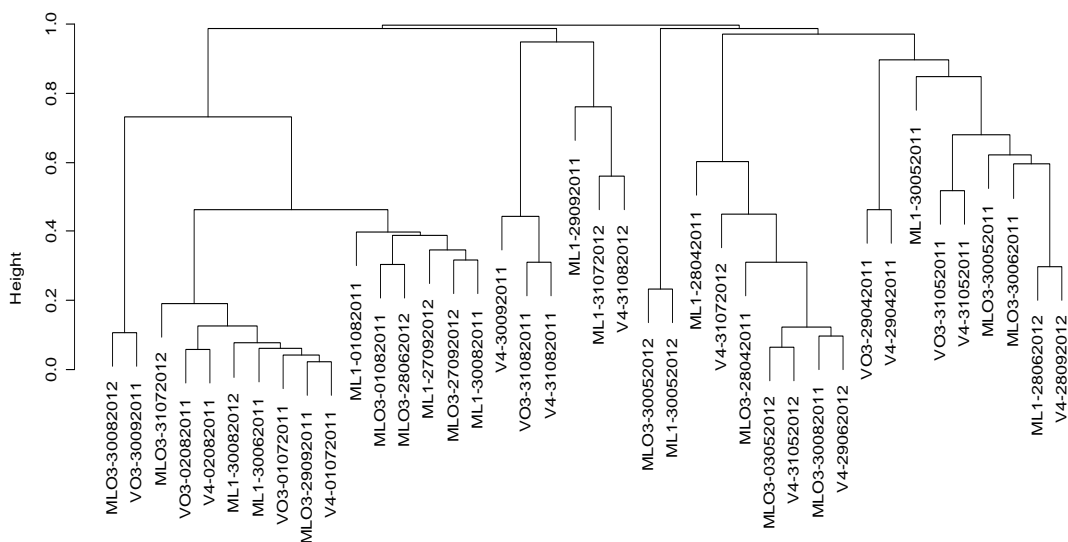
2012								
V1	V2	V3	V5	V6	VO1	VO2	VO4	VO5
<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Acer</i>	<i>Acer</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Acer</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Acer</i>
<i>Aesculus</i>	<i>Allium</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Aesculus</i>	Asteraceae tubuliflores	<i>Calystegia</i>	Apiaceae	Brassicaceae	Asteraceae tubuliflores
<i>Allium</i>	<i>Alnus</i>	Brassicaceae	Asteraceae tubuliflores	<i>Carpinus</i>	Caryophyllaceae	Asteraceae liguliflores	<i>Buxus</i>	Brassicaceae
Asteraceae liguliflores	Asteraceae liguliflores	Chenopodiaceae	Brassicaceae	<i>Cistus</i>	<i>Centaurea</i>	Asteraceae tubuliflores	Cannabaceae	Campanulaceae
Asteraceae tubuliflores	Asteraceae tubuliflores	Convolvulaceae	<i>Calystegia</i>	<i>Cornus</i>	Céréales	Cannabaceae	<i>Centaurea</i>	<i>Carpinus</i>
Brassicaceae	<i>Berberis</i>	<i>Convolvulus</i>	<i>Centaurea</i>	<i>Fraxinus</i>	Chenopodiaceae	<i>Centaurea</i>	Céréales	Céréales
Céréales	Caryophyllaceae	<i>Cornus</i>	Céréales	<i>Fraxinus ornus</i>	Convolvulaceae	Céréales	<i>Cistus</i>	Chenopodiaceae
Chenopodiaceae	<i>Centaurea</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Clematis</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Convolvulus</i>	Chenopodiaceae	<i>Cornus</i>	<i>Cistus</i>
<i>Cistus</i>	<i>Fraxinus</i>	<i>Galium</i>	<i>Convolvulus</i>	Indéterminés	<i>Cornus</i>	<i>Clematis</i>	<i>Corylus</i>	<i>Clematis</i>
<i>Convolvulus</i>	<i>Galium</i>	<i>Genista</i>	<i>Cornus</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Cucurbita pepo</i>	<i>Cornus</i>	<i>Ilex</i>	<i>Cornus</i>
<i>Cornus</i>	<i>Genista</i>	<i>Ilex</i>	Ericaceae	Liliaceae	Ericaceae	Ericaceae	<i>Ligustrum</i>	Cupressaceae
<i>Epilobium</i>	<i>Hedera</i>	Indéterminés	<i>Fraxinus ornus</i>	Papaveraceae	<i>Fraxinus ornus</i>	<i>Genista</i>	Liliaceae	Euphorbiaceae
<i>Galium</i>	<i>Helianthemum</i>	Lamiaceae	<i>Ilex</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Ilex</i>	Indéterminés	<i>Lonicera</i>	<i>Fagopyrum</i>
<i>Helianthus</i>	<i>Ilex</i>	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	<i>Plantago</i>	Lamiaceae	Lamiaceae	Papaveraceae	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Ilex</i>	Indéterminés	Liliaceae	Lamiaceae	Poaceae	<i>Ligustrum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Galium</i>
Indéterminés	<i>Linum</i>	<i>Linum</i>	<i>Ligustrum</i>	<i>Populus</i>	Liliaceae	Liliaceae	<i>Plantago</i>	<i>Genista</i>
Lamiaceae	<i>Lonicera</i>	<i>Lonicera</i>	Liliaceae	<i>Pyracantha</i>	<i>Linum</i>	<i>Parthenocissus</i>	Poaceae	Indéterminés
<i>Ligustrum</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Lonicera</i>	Ranunculaceae	<i>Plantago</i>	<i>Plantago</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Ligustrum</i>
Liliaceae	<i>Plantago</i>	Malvaceae	Lythraceae	<i>Rhamnus</i>	Poaceae	Poaceae	Ranunculaceae	Liliaceae
<i>Linum</i>	Poaceae	<i>Phacelia</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Rhus</i>	<i>Polygonum</i>	Ranunculaceae	<i>Rhus</i>	<i>Linum</i>
Malvaceae	<i>Populus</i>	<i>Plantago</i>	Malvaceae	<i>Rumex</i>	Ranunculaceae	<i>Ribes</i>	<i>Silene</i>	<i>Lonicera</i>
<i>Mercurialis</i>	Ranunculaceae	Poaceae	<i>Mercurialis</i>	type <i>Genista</i>	<i>Reseda</i>	Rosaceae	<i>Teucrium</i>	<i>Mercurialis</i>
<i>Parthenocissus</i>	<i>Reseda</i>	<i>Populus</i>	Papaveraceae	type <i>Iris</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Rumex</i>	type <i>Cirsium</i>	Papaveraceae
<i>Pinus</i>	<i>Sambucus</i>	<i>Pyracantha</i>	<i>Parthenocissus</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Rhus</i>	Scrophulariaceae	type <i>Iris</i>	<i>Plantago</i>
<i>Plantago</i>	Scrophulariaceae	Ranunculaceae	<i>Pinus</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Robinia</i>	<i>Silene</i>	type <i>Lotus</i>	Poaceae
Poaceae	<i>Solanum</i>	<i>Rhus</i>	<i>Plantago</i>	Urticaceae	<i>Rumex</i>	type <i>Cirsium</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Pyracantha</i>
<i>Polygonum</i>	<i>Teucrium</i>	<i>Silene</i>	Poaceae	<i>Viola</i>	<i>Sambucus</i>	type <i>Iris</i>	Urticaceae	Ranunculaceae
<i>Populus</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Tilia</i>	<i>Rumex</i>	<i>Zea mays</i>	type <i>Cirsium</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Viscum album</i>	<i>Rhamnus</i>
<i>Pyracantha</i>	type <i>Cirsium</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Tilia</i>		type <i>Helleborus</i>	Urticaceae	<i>Zea mays</i>	<i>Scabiosa</i>
<i>Reseda</i>	type <i>Diplotaxis</i>	type <i>Lotus</i>	type <i>Genista</i>		type <i>Lotus</i>	<i>Viola</i>		Scrophulariaceae
<i>Rumex</i>	type <i>Helleborus</i>	Urticaceae	type <i>Helleborus</i>		type <i>Taraxacum</i>	<i>Viscum album</i>		<i>Tilia</i>
<i>Sambucus</i>	type <i>Trifolium</i>	<i>Viscum album</i>	type <i>Lotus</i>		type <i>Trifolium</i>	<i>Zea mays</i>		type <i>Cirsium</i>
<i>Sanguisorba</i>	Urticaceae	<i>Zea mays</i>	type <i>Trifolium</i>		<i>Viola</i>			type <i>Iris</i>
Scrophulariaceae	<i>Viscum album</i>		<i>Typha</i>		<i>Zea mays</i>			type <i>Trifolium</i>
<i>Tilia</i>	<i>Zea mays</i>							Urticaceae
type <i>Cirsium</i>								<i>Viscum album</i>
type <i>Iris</i>								<i>Vitis</i>
type <i>Lotus</i>								<i>Zea mays</i>
type <i>Tofieldia</i>								
type <i>Trifolium</i>								
type <i>Veronica</i>								
Urticaceae								
<i>Viscum album</i>								

Annexe 12. Dendrogrammes construits sur la base des indices de similarités Bray-Curtis, eux-mêmes calculés à partir des données palynologiques des échantillons de miel des colonies étudiées sur l'ensemble des ruchers, en 2011 et 2012. A = Réalisé sur la base des familles polliniques, B = Réalisé sur la base des taxons polliniques

A



B

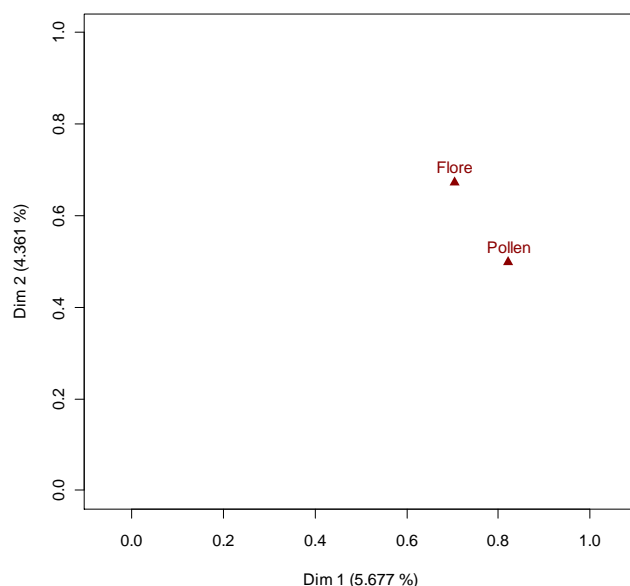


Annexe 13. Pollens présents à moins de 5 % sur l'ensemble des échantillons de miel d'une même colonie sur une même année

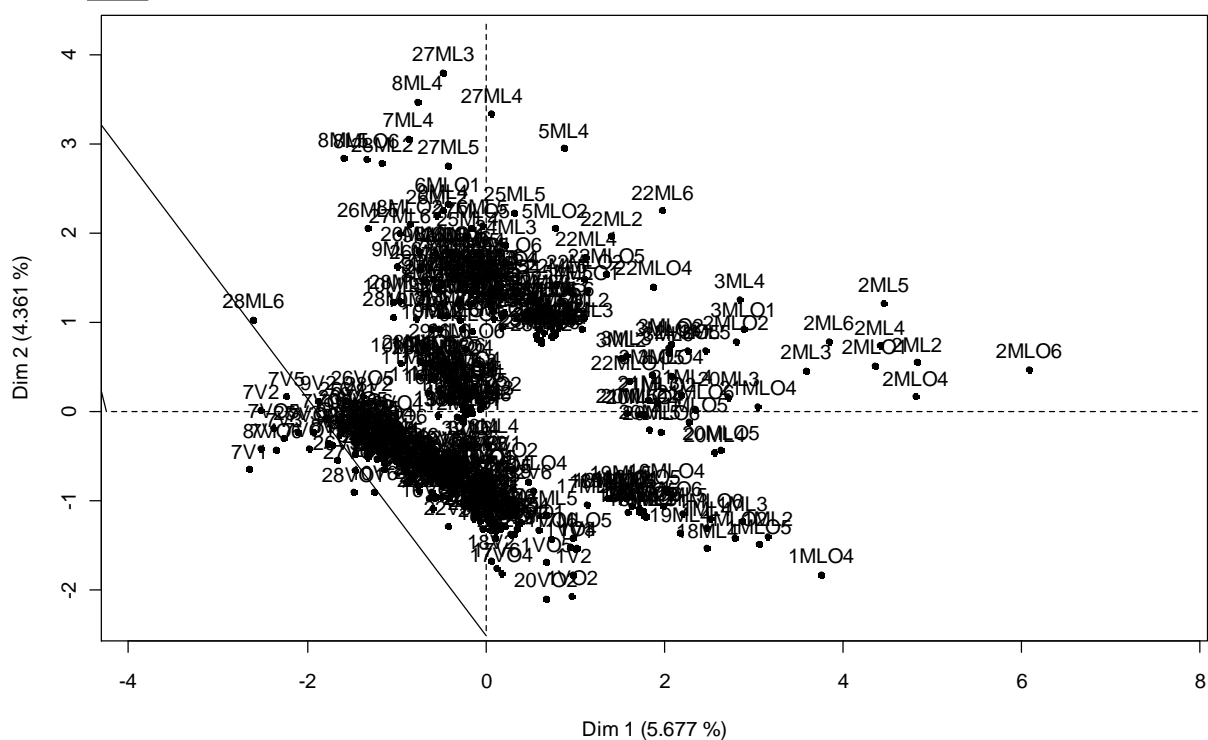
ML1 2011	ML1 2012	MLO3 2011	MLO3 2012	V4 2011	V4 2012	VO3 2011
<i>Aesculus</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Allium</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Acer</i>	<i>Aesculus</i>	<i>Acer</i>
<i>Ailanthus</i>	<i>Allium</i>	<i>Acer</i>	Apiaceae	<i>Aesculus</i>	Apiaceae	<i>Aesculus</i>
<i>Ambrosia</i>	Apiaceae	<i>Aesculus</i>	Asteraceae tubuliflores	Apiaceae	Asteraceae tubuliflores	Asteraceae liguliflores
Apiaceae	Asteraceae liguliflores	<i>Ambrosia</i>	Campanulaceae	Asteraceae liguliflores	Campanulaceae	Asteraceae tubuliflores
Asteraceae liguliflores	Asteraceae tubuliflores	Apiaceae	Caryophyllaceae	Asteraceae tubuliflores	Caryophyllaceae	<i>Campanula</i>
Asteraceae tubuliflores	Campanulaceae	<i>Artemisia</i>	Céréales	<i>Betula</i>	Céréales	<i>Centaurea</i>
<i>Betula</i>	<i>Centaurea</i>	Asteraceae liguliflores	<i>Clematis</i>	Cannabaceae	<i>Clematis</i>	Céréales
Céréales	Céréales	Asteraceae tubuliflores	Convolvulaceae	<i>Carpinus</i>	Convolvulaceae	Chenopodiaceae
Chenopodiaceae	Chenopodiaceae	<i>Betula</i>	<i>Cornus</i>	<i>Celtis</i>	<i>Cornus</i>	<i>Cornus</i>
<i>Convolvulus</i>	Convolvulaceae	<i>Campanula</i>	Ericaceae	<i>Centaurea</i>	Ericaceae	<i>Corylus</i>
<i>Corylus</i>	<i>Cornus</i>	<i>Centaurea</i>	<i>Helianthus</i>	Céréales	<i>Helianthus</i>	Ericaceae
Cupressaceae	<i>Echium</i>	Céréales	<i>Impatiens</i>	Chenopodiaceae	<i>Impatiens</i>	Fabaceae
<i>Echium</i>	<i>Eucalyptus</i>	Cyperaceae	Indéterminés	Ericaceae	Indéterminés	<i>Fagopyrum</i>
<i>Elaeagnus</i>	<i>Hedera</i>	Fabaceae	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Lagerstroemia</i>	<i>Hedera</i>
<i>Eucalyptus</i>	Indéterminés	<i>Helianthemum</i>	Lamiaceae	<i>Ilex</i>	Lamiaceae	<i>Helianthus</i>
<i>Helianthemum</i>	Lamiaceae	<i>Helianthus</i>	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés	<i>Ligustrum</i>	Indéterminés
Indéterminés	<i>Ligustrum</i>	<i>Ilex</i>	Liliaceae	Lamiaceae	Liliaceae	Lamiaceae
Lamiaceae	Liliaceae	Liliaceae	Palmaceae	Liliaceae	Palmaceae	<i>Ligustrum</i>
<i>Ligustrum</i>	<i>Lythrum</i>	Moraceae	<i>Parthenocissus</i>	Malvaceae	<i>Parthenocissus</i>	Malvaceae
<i>Mercurialis</i>	<i>Oenothera</i>	<i>Olea</i>	<i>Phacelia</i>	Papaveraceae	<i>Phacelia</i>	<i>Mercurialis</i>
<i>Parthenocissus</i>	<i>Onobrychis</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Plantago</i>	<i>Phacelia</i>	<i>Plantago</i>	<i>Onobrychis</i>
<i>Pinus</i>	Papaveraceae	<i>Phacelia</i>	<i>Platanus</i>	<i>Plantago</i>	<i>Platanus</i>	Papaveraceae
<i>Plantago</i>	<i>Parthenocissus</i>	<i>Pinus</i>	Poaceae	<i>Polygonum</i>	Poaceae	<i>Polygonum persicaria</i>
Poaceae	Poaceae	<i>Plantago</i>	Ranunculaceae	<i>Quercus</i>	Ranunculaceae	<i>Quercus</i>
<i>Populus</i>	<i>Reseda</i>	Poaceae	<i>Rhamnus</i>	Ranunculaceae	<i>Rhamnus</i>	Ranunculaceae
<i>Quercus</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Populus</i>	<i>Tilia</i>	<i>Rumex</i>	<i>Tilia</i>	<i>Robinia</i>
<i>Rhus</i>	<i>Sambucus</i>	<i>Quercus</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Salix</i>	type <i>Cirsium</i>	<i>Rumex</i>
<i>Ribes</i>	Scrophulariaceae	<i>Rhus</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Sambucus</i>	type <i>Lotus</i>	<i>Sambucus</i>
<i>Rumex</i>	<i>Silene</i>	<i>Ribes</i>	type <i>Potentilla</i>	type <i>Lotus</i>	type <i>Potentilla</i>	<i>Tilia</i>
<i>Sambucus</i>	type <i>Prunus</i>	<i>Robinia</i>	type <i>Primula</i>	Urticaceae	type <i>Primula</i>	type <i>Crataegus</i>
Scrophulariaceae	type <i>Ruta</i>	<i>Salix</i>	<i>Viburnum</i>		<i>Viburnum</i>	type <i>Iris</i>
<i>Solanum</i>	Urticaceae	<i>Sambucus</i>	<i>Vitis</i>		<i>Vitis</i>	Urticaceae
<i>Tilia</i>		<i>Tilia</i>				
type <i>Cirsium</i>		type <i>Cirsium</i>				
type <i>Crataegus</i>		type <i>Hypericum</i>				
type <i>Hypericum</i>		type <i>Iris</i>				
type <i>Liriodendron</i>		type <i>Liriodendron</i>				
Urticaceae		type <i>Lotus</i>				
		type <i>Taraxacum</i>				
		type <i>Tofieldia</i>				
		type <i>Trifolium</i>				
		<i>Viburnum</i>				

Annexe 14. Analyse Factorielle Multiple basée sur les données floristiques et palynologiques à l'échelle de la famille. A = Carré de liaison des groupes de l'AFM et B = Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie)

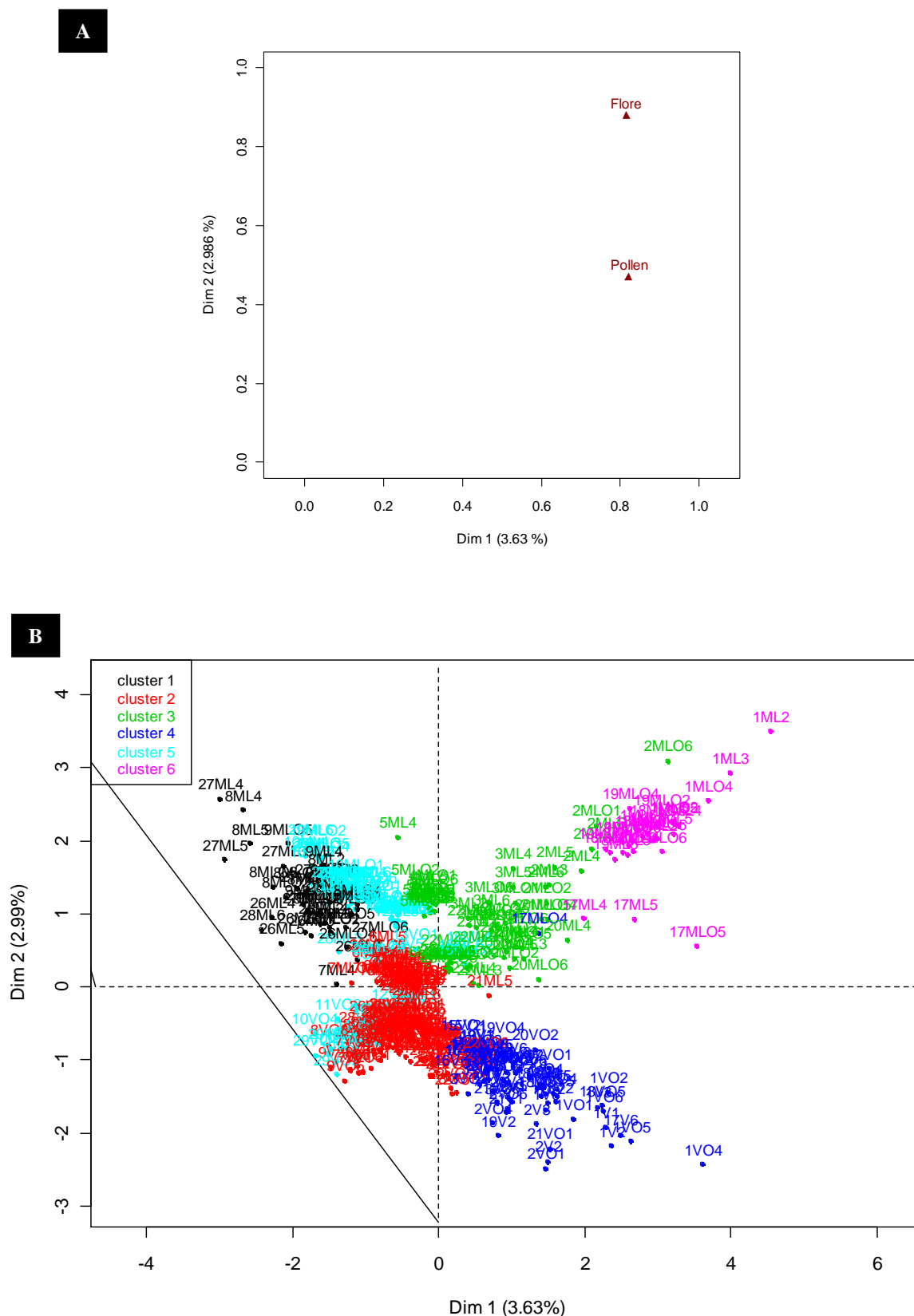
A



B

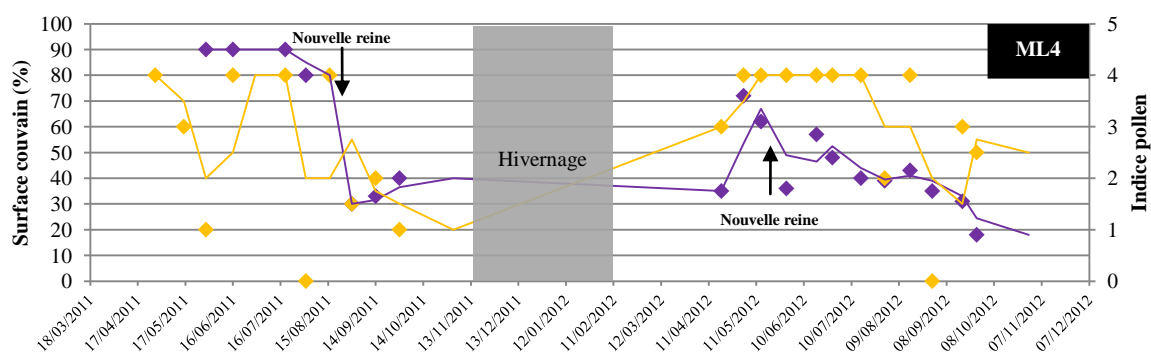
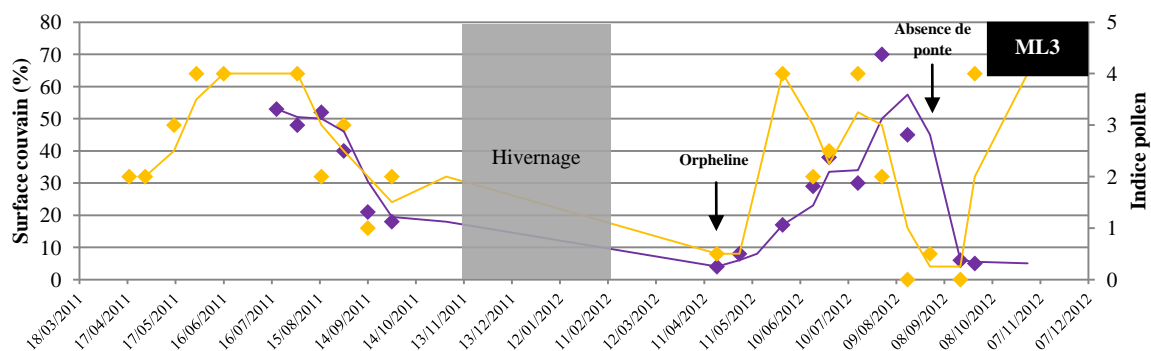
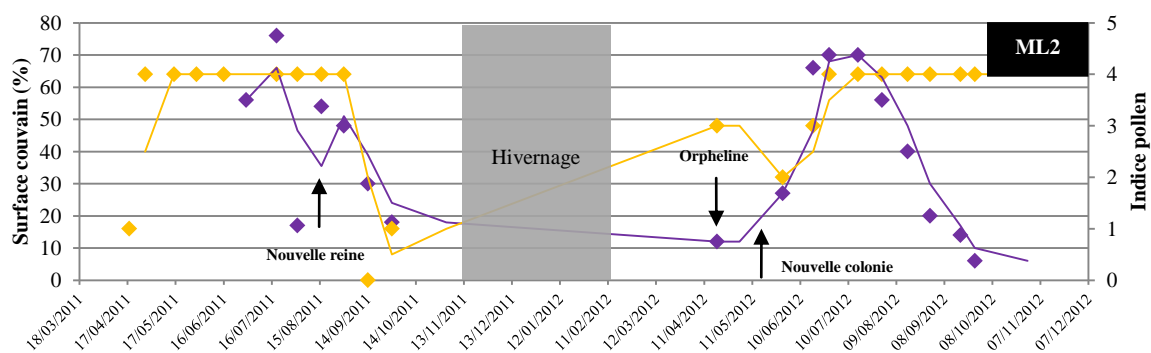
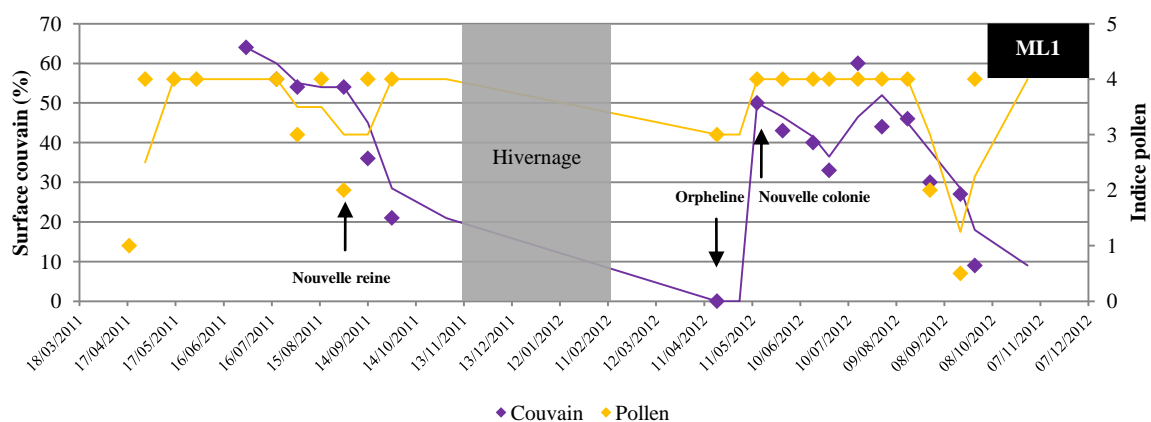


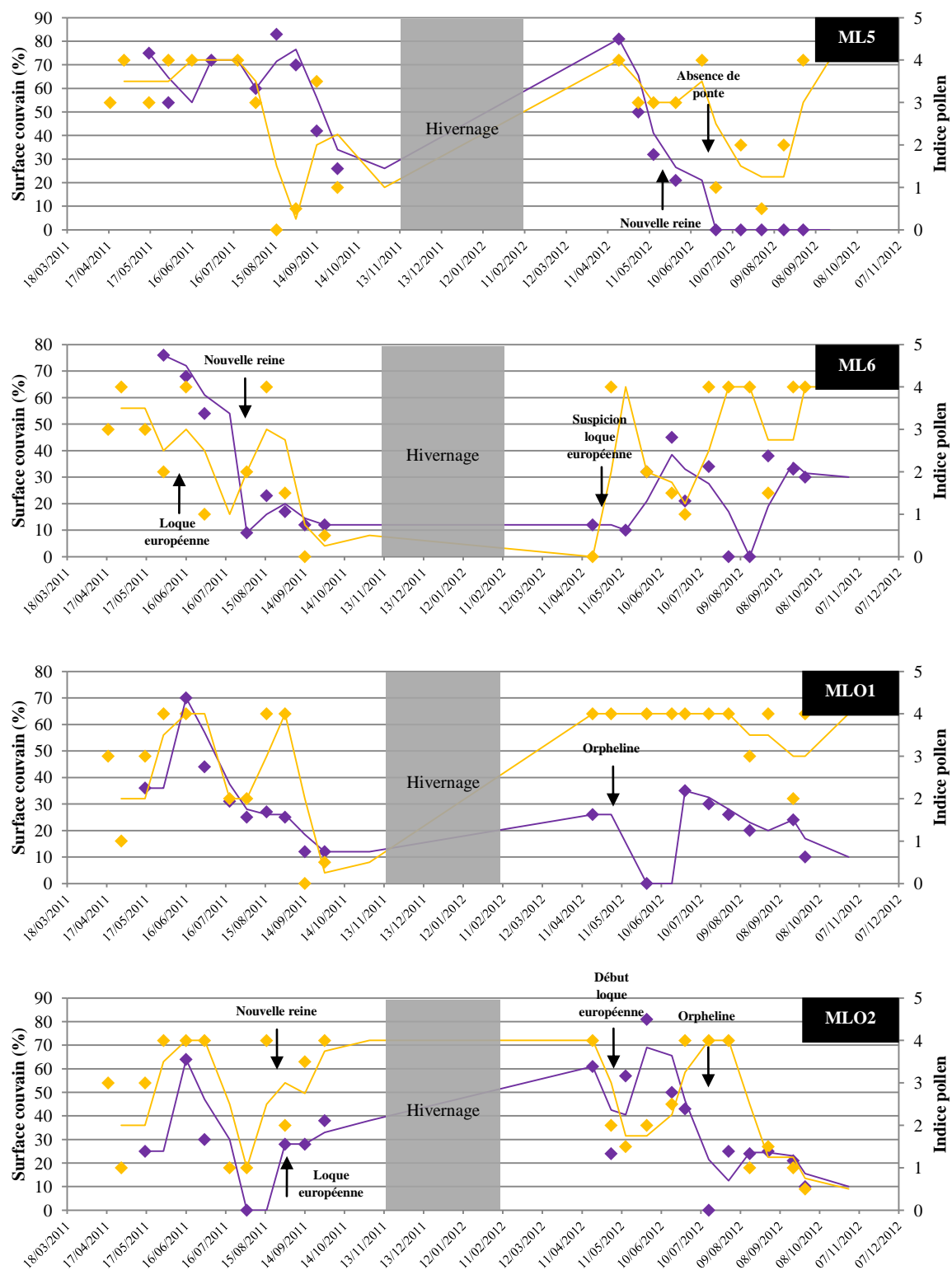
Annexe 15. Analyse Factorielle Multiple basée sur les espèces floristiques et les taxons polliniques. A = Carré de liaison des groupes de l'AFM et B = Projections des individus sur le premier plan factoriel de l'AFM et classification des individus (HPCP) (les individus sont identifiés par le numéro de session de prélèvement –Cf. II.3.1., Tableau 13-, la lettre du rucher, le type de colonie et le numéro de colonie)

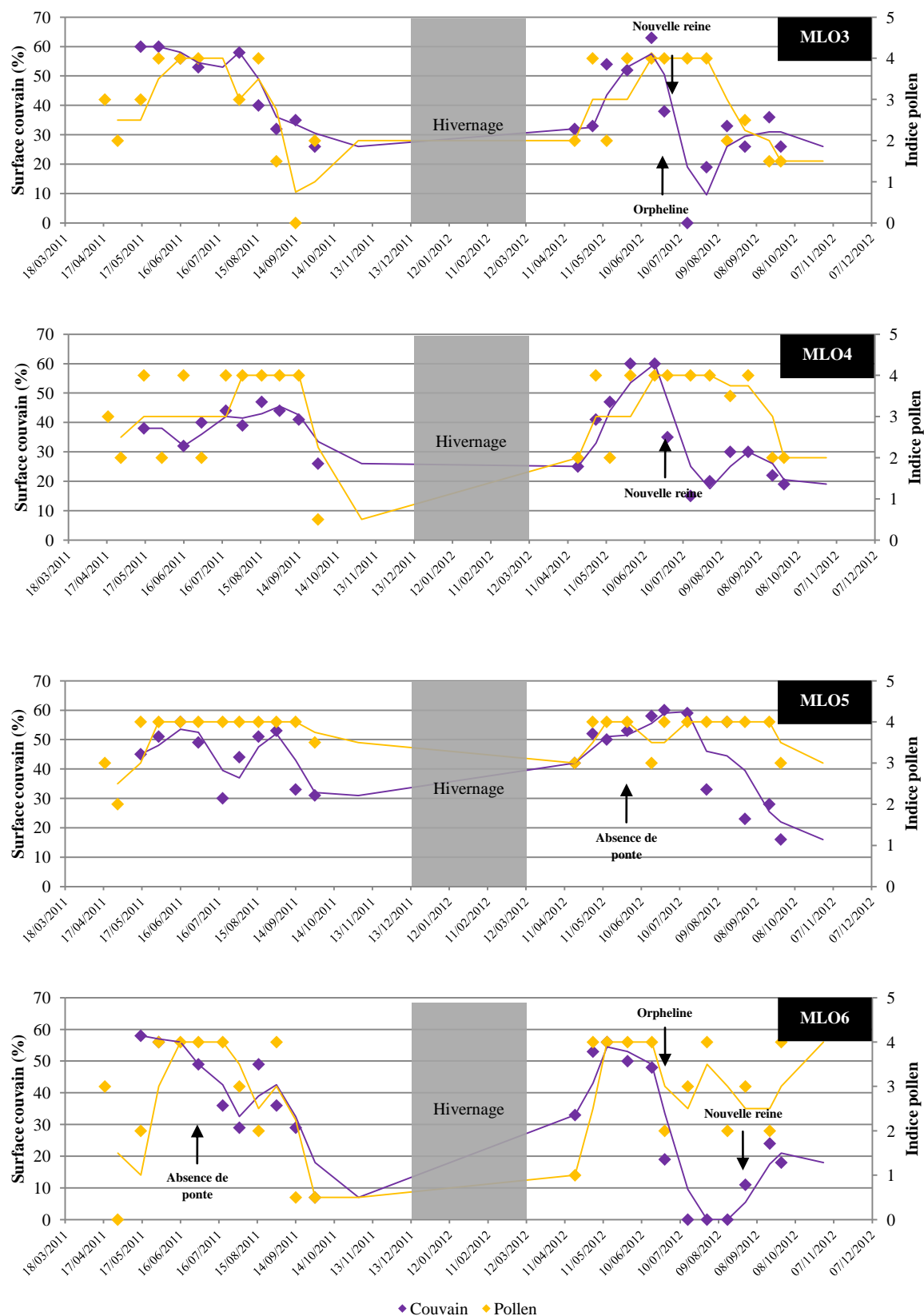


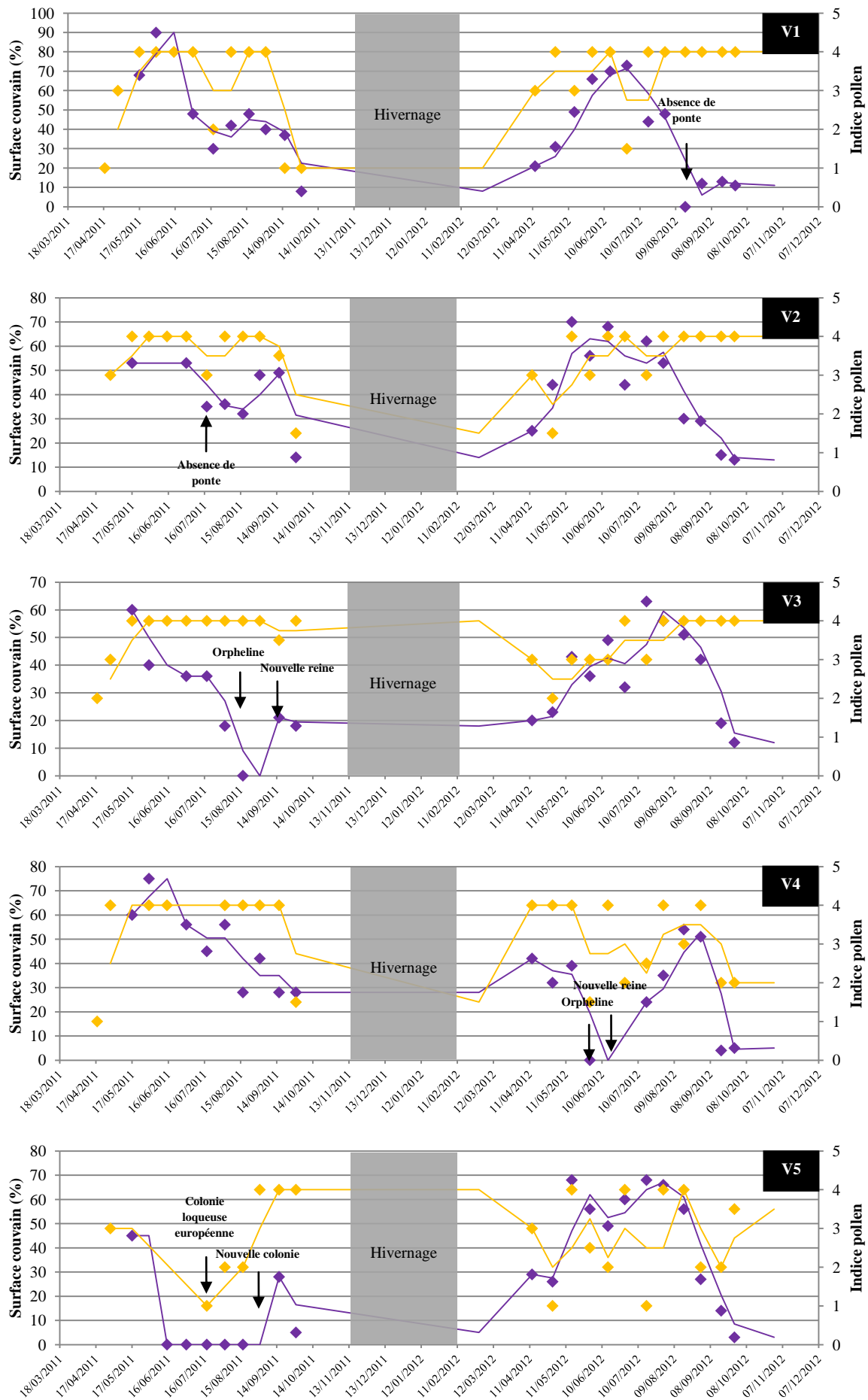
Annexe 16. Evolution de la surface de couvain et de la quantité de réserve en pollen au sein des colonies du rucher ML et du rucher V durant les saisons apicoles 2011 et 2012

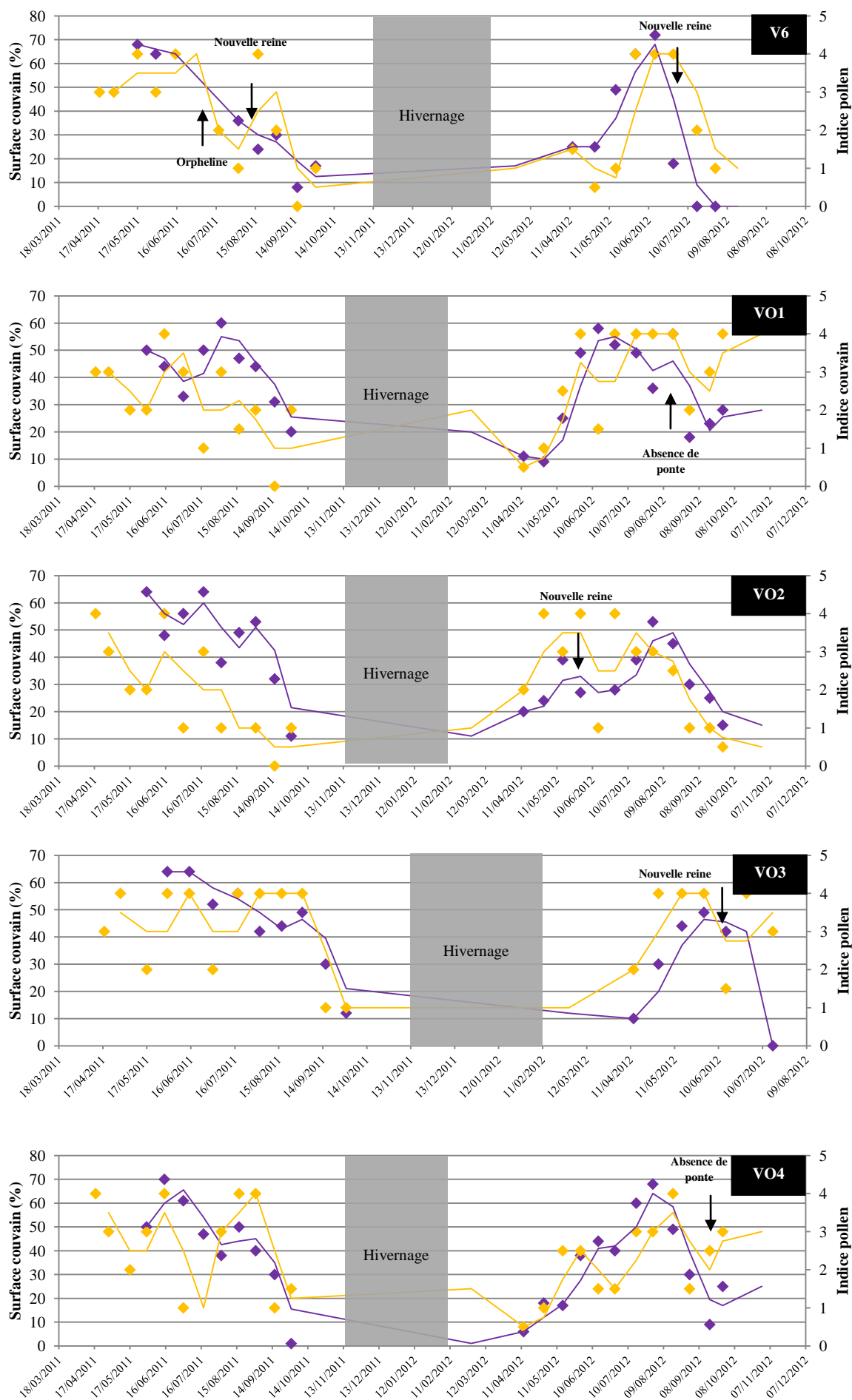
(le même code couleur est utilisé pour tous les graphiques : les losanges de couleur violet correspondent aux surfaces de couvain, ceux de couleur orange correspondent aux réserves en pollen ; en gris apparaît la période d'hivernage pour laquelle nous ne disposons pas de données)

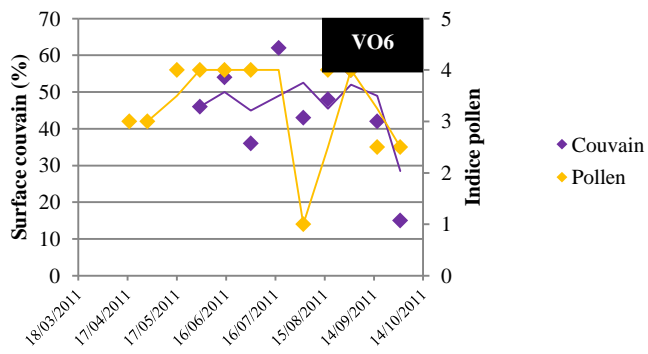
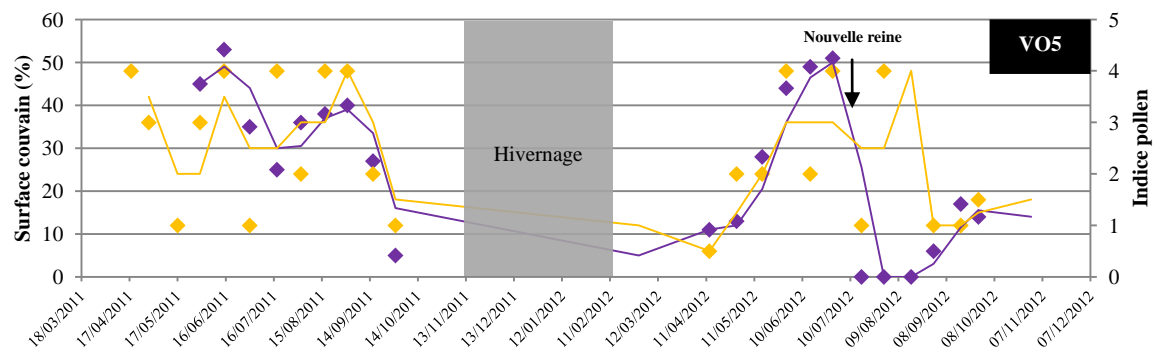












Annexe 17. Quantité de protéines présentes dans différentes espèces de pollen (a = Hügel, 1962 ; b = De Simone *et al.*, 1980 ; c = Pernal & Currie, 2000 ; d = Bruneau, 2006 ; e = Szczesna *et al.*, 2006 ; f = Ozler *et al.*, 2009 ; g = Santos *et al.*, 2009 ; h = Sommerville, 2011 ; i = Alaux *et al.*, 2012 ; j = Di Pasquale *et al.*, 2013)

Espèce	Protéine (%)	Espèce	Protéine (%)
<i>Acer</i> sp. ⁱ	25,9	<i>Lotus corniculatus</i> ^g	36,9
<i>Aesculus hippocastanum</i> ^d	26	<i>Malus pumila</i> ^d	24,29-25,12
<i>Agrimonia</i> sp. ^e	21,74	<i>Malus</i> spp. ^g	32,5
<i>Alnus glutinosa</i> ^a	25,6	Onagraceae ^e	21,51
<i>Artemisia</i> sp. ^e	13,06	<i>Phacelia tanacetifolia</i> ^{c,d}	26,02-30,1
<i>Betula pendula</i> ^f	7,73	<i>Prunus communis</i> ^d	43
<i>Brassica napus</i> ^{c,d,h}	10,63-27,1	<i>Pyrus communis</i> ^{d,h}	26-26,2
<i>Brassica</i> spp. ^g	29,9-31,6	<i>Quercus</i> sp. ^d	29,6
Caryophyllaceae ^e	21,02	<i>Ranunculus</i> sp. ^e	17,83
<i>Castanea</i> sp. ^{i,j}	21,6-23,6	<i>Rubus</i> sp. ^j	22
<i>Chelidonium majus</i> ^e	22,24	<i>Salix caprea</i> ^d	22-36
<i>Cichorium intybus</i> ^g	19,9-22,0	<i>Salix</i> sp. ^{g,h,i}	14,5-25,8
<i>Cirsium vulgare</i> ^{d,h}	16,1-31,8	<i>Sinapis alba</i> ^e	24,54
<i>Cornus</i> sp. ^e	19,27	<i>Sinapis arvensis</i> ^e	23,46
<i>Corylus avellana</i> ^d	30	<i>Syringa</i> sp. ^e	21,54
<i>Echium vulgare</i> ^{d,h}	34,9-35	<i>Taraxacum officinale</i> ^g	20,1-29,3
<i>Erica</i> sp. ^{i,j}	14,8-17,1	<i>Taraxacum</i> sp. ⁱ	19,8
<i>Eucalyptus</i> spp. ^g	27,3-28,7	<i>Trifolium pratense</i> ^g	30,3-31,4
<i>Fagopyrum esculentum</i> ^{d,h}	11	<i>Trifolium repens</i> ^{d,g,h}	24,7-32,2
<i>Fragaria</i> sp. ^e	21,61	<i>Ulex europaeus</i> ^{d,h}	16,5-28,4
<i>Helianthus annuus</i> ^{c,d,h}	12,9-15	<i>Vicia faba</i> ^{d,h}	22,3-24,4
<i>Hypochaeris radicata</i> ^{d,h}	9,2-18,2	<i>Vicia</i> sp. ^{d,h}	24-24,1
<i>Juglans regia</i> ^f	7,55	<i>Zea mays</i> ^{a,d,h}	14,9-26,3
<i>Lavandula</i> sp. ^{d,h}	19,4-20		

Annexe 18. Quantité de différents acides aminés présents dans différentes espèces de pollen (a = *De Simone et al., 1980* en µmol/g de pollen sec ; b = *Szczesna et al., 2006* en mg/g de pollen sec ; c = *Ozler et al., 2009* en mg/100g de pollen ; d = *Sommerville, 2011* en %)

	Acide aspartique	Acide glutamique	Alanine	Arginine	Cystine	Glycine	Histidine	Isoleucine	Leucine
<i>Agrimonia</i> sp. ^b	23,97	22,96	11,32	8,97	—	9,5	14,43	8,48	16,42
<i>Artemisia</i> sp. ^b	12,52	12,87	6,8	4,68	—	5,87	9,53	4,77	8,43
<i>Betula pendula</i> ^c	13,04-81,46	6,41-9,81	28,19-31,81	88,96-698,67	9,92-30,67	6,14-7,69	18,02-355,24	—	25,57-47,07
<i>Brassica napus</i> ^d	—	—	—	4,83-6,26	—	—	2,13-2,72	3,82-6,2	6,57-8
Caryophyllaceae ^b	21,52	22,47	10,41	8,8	—	9,58	14,19	8,82	18,8
<i>Castanea</i> sp. ^a	—	25,82	2,47	Traces	—	36,2	2	Traces	4,99
<i>Chelidonium majus</i> ^b	27,01	27,9	12,54	10,72	—	10,79	16,19	9,72	23,1
<i>Cirsium vulgare</i> ^d	—	—	—	3,7-6,5	—	—	1,4-3,6	3,2-4,7	4,6-6,7
<i>Cornus</i> sp. ^b	19,52	19,87	9,2	7,4	—	8,14	12,67	7,6	12,4
<i>Echium vulgare</i> ^d	—	—	—	4,89	—	—	2,36	4,6	7,03
<i>Fagopyrum esculentum</i> ^d	—	—	—	4,32	—	—	2,65	4,46	6,83
<i>Fragaria</i> sp. ^b	21,87	23,81	10,99	9,08	—	9,03	13,11	8,04	14,97
<i>Helianthus annuus</i> ^d	—	—	—	3,71-5,7	—	—	4,61-4,79	4-4,6	6,41-6,8
<i>Hypochaeris radicata</i> ^d	—	—	—	3,01-6,6	—	—	3,12-4,9	2,7-4,27	4,94-7
<i>Juglans regia</i> ^c	25,85-39,48	6,76-15,86	135,43-219,32	396,53-759,98	12,45-21,28	10,58-17,18	69,92-124,1	—	27,53-98,14
<i>Lavandula</i> sp. ^d	—	—	—	4,31	—	—	3,67	3,59	6,04
Onagraceae ^b	24,85	26,43	11,47	9,45	—	9,76	14,22	10,23	16,09
<i>Pyrus communis</i> ^d	—	—	—	4,77	—	—	2,64	4,11	6,89
<i>Ranunculus</i> sp. ^b	16,47	16,83	8,76	6,88	—	7,49	11,2	6,04	10,93
<i>Salix</i> sp. ^d	—	—	—	6,29-6,82	—	—	1,8-2,28	3,28-4,75	5,62-7,49
<i>Sinapis alba</i> ^b	30,22	29,25	12,94	11,26	—	12,76	21,14	9,88	22,26
<i>Sinapis arvensis</i> ^b	28,3	26,33	12,76	10,64	—	12,01	18,09	9,52	19,43
<i>Syringa</i> sp. ^b	21,83	23,24	10,61	9,07	—	9,77	14,84	8,67	16,89
<i>Trifolium repens</i> ^d	—	—	—	4,2-8	—	—	2,49-2,6	4,44-5,7	6,9-13,5
<i>Ulex europaeus</i> ^d	—	—	—	2,6-4,73	—	—	2,26	2,1-4,43	7,15-14,4
<i>Vicia faba</i> ^d	—	—	—	4,8-5,1	—	—	2,11-2,3	4,6-4,83	6,7-6,9
<i>Vicia</i> sp. ^d	—	—	—	4,72-5,24	—	—	1,98-2,18	4,66-5,13	7,02-7,8
<i>Zea mays</i> ^d	—	—	—	4,7	—	—	1,86	4,84	6,82

	Lysine	Methionine	Phenylalanine	Proline	Serine	Threonine	Tyrosine	Valine
<i>Agrimonia</i> sp. ^b	6,07	3,68	9,67	20,16	10,1	8,81	4,84	10,11
<i>Artemisia</i> sp. ^b	4,34	1,45	5,03	12,73	6,34	5,01	2,63	5,74
<i>Betula pendula</i> ^c	38,3-96,75	3,75-7,65	15,74-30,85	176,03-833,63	22,82-23,8	10,45-21,07	38,35-120,52	36,16-37,23
<i>Brassica napus</i> ^d	3,2-8,45	1,8-2,51	3,78-5,5	—	—	3,93-5,6	—	5,13-6,8
Caryophyllaceae ^b	6,16	3,33	9,71	28,79	11,43	9,53	4,77	9,81
<i>Castanea</i> sp. ^a	2,48	11	1,81	0,72	Traces	0,72	4,58	8,66
<i>Chelidonium majus</i> ^b	5,72	4,52	11,08	19,18	11,94	11,44	5,85	11,6
<i>Cirsium vulgare</i> ^d	1-6,8	1,2-2,1	2,6-4	—	—	1,7-4,3	—	3,4-5,2
<i>Cornus</i> sp. ^b	4,81	2,8	7,94	20,48	8,07	7,31	3,82	9,24
<i>Echium vulgare</i> ^d	5,08	2,28	4,32	—	—	4,69	—	5,45
<i>Fagopyrum esculentum</i> ^d	6,89	1,98	3,85	—	—	4,2	—	5,02
<i>Fragaria</i> sp. ^b	4,93	3,34	9,16	26,44	10,15	8,76	4,43	9,74
<i>Helianthus annuus</i> ^d	3,9-6,21	1,82-2,3	3,55-7,1	—	—	3,4-4,06	—	4,57-4,64
<i>Hypochaeris radicata</i> ^d	6,4-8,88	1,43-2,18	3,04-4,1	—	—	3,05-4,17	—	2,98-4,55
<i>Juglans regia</i> ^c	64,53-133,11	9,61-35,54	25,8-95,92	378,63-546,53	25,96-42,77	36,81-40,82	48,19-66,09	35,97-73,18
<i>Lavandula</i> sp. ^d	6,38	2,21	4,11	—	—	4,17	—	4,54
Onagraceae ^b	4,63	2,65	10,24	24,97	10,43	9,62	5,2	11,93
<i>Pyrus communis</i> ^d	6,42	2,43	4,15	—	—	4,42	—	5,4
<i>Ranunculus</i> sp. ^b	4,33	2,53	7,06	17,25	7,98	6,85	3,05	6,9
<i>Salix</i> sp. ^d	5,25-7,16	2,16-2,44	3,29-4,39	—	—	3,41-4,5	—	3,93-5,51
<i>Sinapis alba</i> ^b	5,57	4,16	11,46	26,98	14,2	11,65	5,62	11,79
<i>Sinapis arvensis</i> ^b	5,3	3,68	10,59	24,6	13,26	11,32	5,3	11,13
<i>Syringa</i> sp. ^b	5,79	3,28	9,63	32,27	10,96	9,25	4,71	10,1
<i>Trifolium repens</i> ^d	2,7-5,86	1,5-2,18	4,28-4,6	—	—	4,1-4,57	—	4,5-5,27
<i>Ulex europaeus</i> ^d	2,4-5,99	2,35-3,2	4,39-11,3	—	—	4,3-4,51	—	5,14-10,7
<i>Vicia faba</i> ^d	4,17-7,4	1,8-2,24	4-4,3	—	—	4,57-4,8	—	5,1-5,22
<i>Vicia</i> sp. ^d	6,74-7,37	2,36-2,39	4,36-4,8	—	—	4,55-5	—	5,15-5,68
<i>Zea mays</i> ^d	5,55	1,57	3,84	—	—	5,11	—	5,9